



Energetische
Biomassenutzung

FOCUS ON

Schaumbildung in Biogasanlagen



FOKUSHEFT

Energetische Biomassenutzung

FOCUS ON

ANGEWANDTE FORSCHUNG

PRAXIS

STECKBRIEFE

Vorworte	3
Der Traum vom kontrollierten Schaum L. Moeller, A. Zehndorf	4
Prozessstörungen: Vermeidung oder Gegenmaßnahme? T. Lienen, A. Kleyböcker, H. Würdemann	14
Unzerkleinerte Getreidekörner in Biogasanlagen F. Weißbach, L. Wolf, V. Strubelt, C. Strubelt	18
Optimierter Anlagenbetrieb von Biogasanlagen J. Daniel-Gromke, T. Reinelt, J. Postel	25
Tierische Nebenprodukte als Monosubstrat F. Rüscher Pfund	30
Das Ende des Schaums H.-J. Nägele	37
Backhefe im Fermenter Interview mit Patrick Pfeffer (Bioenergie Bayern GmbH & Co KG)	44
Alpträum Schaum H. Lindorfer	46
Jede vermiedene Betriebsstörung ist ein wirtschaftlicher Erfolg Interview mit Markus Biegel (OEWA GmbH)	53
Transparente Prozessüberwachung in Biogasanlagen J. Wiese	56
Praxistaugliche Gegenmaßnahmen bei Schaumbildung Interview mit Dorothea Telschow (Biogas - Additive.de)	62
Biogasanlage Zschettgau	64
Biogasanlage Schwabach	65
Biogasanlage Ochelmitz	66
Biogasanlage Rosental	67
Biogasanlage Luchau	68
Biogasanlage Kiebitz	69
Biogasanlage Reutter	70
Biogasanlage Rädike	71
Biogasanlage Warsaw	72
Biogasanlage Waßmannsdorf	73
Leipziger Schaumtester	74
Impressum	

FOCUS ON

Schaumbildung in Biogasanlagen

Vorworte

Sehr geehrte Leser,

die weiträumige Anwendung von Biogastechnologien ist in der Lage, nachweislich positive Effekte im Abfallmanagement, bei der Bereitstellung erneuerbarer Energie und in der Bewirtschaftung unserer Böden zu erzielen.

Für den Betreiber einer Vergärung stellen sich auch nach mehreren Jahrzehnten des Wissensaufbaus noch etliche handfeste Herausforderungen. Schaumbildung ist eine von ihnen. Das Auftreten von Schaum zählt zu den häufigsten Betriebsstörungen von Biogasanlagen. Charakteristisch für Schaumprobleme ist dabei oft ihre Unberechenbarkeit. Meist sind Substrateffekte die unmittelbare Ursache. Aber auch biologische, chemische oder physikalische Prozessstörungen sind verantwortlich für die Ausbildung von Schäumen. Oft sind die Zusammenhänge, welche zur Schaumbildung führen, mehrschichtig und aus den täglichen Betriebsdaten können keine eindeutigen Maßnahmen abgeleitet werden.

Schaumbekämpfungsstrategien sind so vielfältig wie die Ursachen. Sie beginnen mit hydraulischen Maßnahmen, beinhalten Veränderungen von Substratspektrum, Temperatur oder Raumbelastung und umfassen die Zugabe von Nährstoffen, Enzymen und Entschäumern. Parameter zur Früherkennung sowie verlässliche Messtechnik zur Erfassung von Schaum sind nicht standardisiert vorhanden.

Schaum ist ein unterschätztes Thema. Das vorliegende Fokusheft zeigt Ihnen vielversprechende Ansätze zur systematischen Erfassung und Beurteilung von Schäumen in Biogasanlagen auf. Sie finden neben Analysen von Ursachen der Schaumentstehung auch fundierte Übersichten über Maßnahmen zur Schaumbekämpfung. Ergänzt werden diese Beiträge durch mehrere Fachinterviews sowie durch Anlagenportraits.

Ich wünsche Ihnen eine wissensbildende Lektüre!

Sehr geehrte Damen und Herren,

unkontrollierte Schaumbildung gehört zu den wichtigsten Prozessstörungen bei der Biogaserzeugung und kann erheblichen ökonomischen Schaden anrichten. Ihre Ursachen sind biologischer, ihre Folgen technischer Art. Wer diese Schäden vermeiden will, muss deshalb bei der Steuerung der Biologie im Fermenter ansetzen.

Leider sind die mit Schaum verbundenen Mängel im Prozessverlauf nicht die einzigen, die in der Praxis auftreten. Nicht selten werden Biogasanlagen suboptimal betrieben, nur dass die Auswirkungen nicht immer so auffällig sind. Mehr Wissen über die Eigenschaften der Substrate und über die Reaktionsweise des mikrobiellen Ökosystems auf ihren Einsatz wird immer mehr zur Voraussetzung dafür, Biogasanlagen effizient und störungsfrei betreiben zu können. Das gilt umso mehr, wenn der Substrateinsatz auch bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen künftig vielfältiger und auf die Verwertung von Abfällen ausgerichtet sein wird. Wie aber das oft unerwartete und unerklärliche Auftreten von Schaumgärungen zeigt, gibt es nach wie vor erhebliche Kenntnislücken über die Kausalbeziehungen innerhalb der Biozönose und über die Reaktionsweise des Ökosystems auf veränderte innere und äußere Bedingungen. Hier besteht weiter dringender Forschungsbedarf.

Die Beiträge zu diesem Fokusheft sind eine aktuelle Bestandsaufnahme über die Kenntnisse zum Thema „Schaumbildung in Biogasanlagen“. Sinnvollerweise sind zunächst viele davon auf eine eingehende Analyse von Problemfällen in der Praxis gerichtet. Aber auch wichtige Ergebnisse erfolgreicher Forschungsarbeiten zur Schaumvermeidung werden vorgestellt.

Das Fokusheft wird dazu beitragen, den weiteren Forschungsbedarf solide zu begründen und erfolgversprechende Strategien für neue Untersuchungsprojekte abzuleiten.



Prof. Dr. Urs Baier
zhaw – Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachstellenleiter Umweltbiotechnologie



Prof. Dr. Friedrich Weißbach
Freischaffender Firmenberater, Elmenhorst

Der Traum vom kontrollierten Schaum

Untersuchungen zur Schaumbildung und Schaumvermeidung in Biogasanlagen

Lucie Moeller und Andreas Zehnsdorf,
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung

Foto: A. Zehnsdorf, UFZ

Als das Teilprojekt „Schaum“ des Verbundprojektes „Optgas“ im Rahmen des Förderprogramms Energetische Biomassenutzung gestartet wurde, gab es kaum Forschungsergebnisse auf dem Gebiet der Schaumbildung in Biogasanlagen. Eine Ausnahme bildete die Erforschung der Schaumentstehung in Faultürmen auf Kläranlagen, die bereits seit einigen Jahrzehnten betrieben wird. Da sich aber Faultürme bezüglich Konstruktion, Rührtechnik, Substraten und Betriebsmanagement von herkömmlichen Biogasanlagen stark unterscheiden, können diese Forschungsergebnisse nicht ohne weiteres auf alle Biogasanlagen übertragen werden. Im Interview mit Dr. Markus Biegel (auf Seite 53) wird die Problematik der Schaumbildung in Faultürmen von Kläranlagen näher beleuchtet.

Um herauszufinden, wie relevant das Problem der Schaumbildung ist, wurde zunächst eine Umfrage bei Betreibern von Biogasanlagen, die biogene Abfälle vergären, durchgeführt. Derartige Anlagen waren Schwerpunkt im Forschungsprojekt „Optgas“ und neigen wegen ihrer ständig wechselnden Substratzusammensetzung eher zur Schaumbildung als Anlagen, die nachwachsende Rohstoffe verwenden.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigten eine hohe Relevanz

des Problems der Schaumbildung bei der anaeroben Vergärung. Dank des Engagements der angesprochenen Anlagenbetreiber wurden zahlreiche Untersuchungen an den betroffenen Anlagen durchgeführt. Da die herkömmlichen Stabilitätsfaktoren, wie FOS/TAC, flüchtige organische Säuren, Ammonium-Stickstoff etc. meistens unauffällig waren, wurde festgestellt, dass die Schaumbildung in der Regel ihre Ursache nicht in einer Störung der Mikrobiologie hat. Außer der chemisch-physikalischen Analyse der Fermenter-inhalte wurden auch betriebliche Daten der betroffenen Anlagen untersucht. Dabei fiel auf, dass die Schaumbildung häufig mit der Nutzung von spezifischen Substraten einhergeht. Die Hauptschwierigkeit der Erforschung des Phänomens der Schaumbildung bestand darin, dass die Anlagenbetreiber aus bautechnischen Gründen sehr oft keine Probe vom Schaum entnehmen konnten oder wollten. So wurde es notwendig, den Schaum unter praxisnahen Bedingungen selbst im Labor zu produzieren. Die für diesen Zweck entwickelte Methode eignete sich zur Ursachendiagnose bereits schäumender Anlagen und teilweise zur Vorhersage von Schaumbildung in den Praxisanlagen. Aus diesem Grund fokussierten sich die weiteren Arbeiten auf

Die Ergebnisse...

... entstanden im Teilprojekt „Bioprozesstechnische Untersuchungen zur Schaumbildung und Auswirkungen von Antischaummitteln“ des Verbundprojektes „Vergleichende Untersuchungen an großtechnischen Biogasreaktoren - verfahrenstechnische, mikrobiologische, ökologische und ökonomische Bewertung und Optimierung“ (Optgas), gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages (Förderkennzeichen: 03KB018C) und dem Projekt: „Investigations of foam formation and suppression in the process of anaerobic digestion“, gefördert von Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft (Förderkennzeichen: PD-083)

die Entwicklung eines einfachen Testsets für die Nutzung unter Praxisbedingungen. Es entstand der **LEIPZIGER SCHAUMTESTER**. Dank dieses Testsets ist es gelungen, zahlreiche Ursachen für die Schaumbildung in der Praxis aufzuklären und darauf basierend Hinweise zur Schaumvermeidung zu geben. Im Folgenden wird ein kurzer Überblick zu Schaum in Biogasanlagen gegeben und es werden einige Ursachen für die Schaumbildung in Biogasanlagen näher vorgestellt.

Wie Schaum entsteht

Schaum besteht aus von Flüssigkeit umgebenen Gasblasen, wobei das Gas den größeren Volumenanteil ausmacht. Damit Schaum entstehen kann, müssen mindestens zwei Voraussetzungen erfüllt sein:

- in der Flüssigkeit muss Gas entstehen oder Gas muss in die Flüssigkeit eingetragen werden,
- in der Flüssigkeit müssen oberflächenaktive Stoffe vorkommen.

Die oberflächenaktiven Substanzen können unterschiedlich groß sein. Neben niedermolekularen Tensiden (z. B. Phospholipide) gibt es hochmolekulare organische Verbindungen, die sich ebenfalls an der Grenze zwischen Flüssigkeit und Luft anreichern können. Dabei handelt es sich z. B. um Saponine, Proteine, Polysaccharide, Cellulosederivate, Huminsäuren und Polyelektrolyte. Gerade diese Stoffe können zu einer starken Stabilisierung gebildeter Schäume beitragen. Für solche hartnäckigen, stabilen und elastischen Schäume ist ein kleiner Blasendurchmesser charakteristisch.

Für das Problem der Schaumbildung in Biogasanlagen spielen neben Tensiden (dazu gehören zum Beispiel organische Säuren, Öle, Fette, Detergenzien) auch so genannte Biotenside eine wesentliche Rolle. Das sind Naturstoffe, die im Biogasreaktor von Mikroorganismen produziert werden. Auch die Oberfläche der mikrobiellen Zelle selbst kann Biotenside beinhalten. In diesem Fall sind vor allem filamentöse Mikroorganismen (z. B. *Microthrix parvicella*) von Bedeutung. Diese Bakterien kommen in Klärschlämmen vor, wo sie sich besonders im Winter rasch vermehren und in Faul-

türmen Probleme durch Schaumstabilisierung verursachen (Beitrag von LIENEN et al., S. 14 in diesem Heft). Gebildete Schaumblasen können noch weiter stabilisiert werden, zum Beispiel durch eine geringe Viskositätserhöhung in der zwischenlaminaren Flüssigkeit. Eine zu hohe Viskosität des Gärmaterials, die beispielsweise von Polysacchariden wie Pektin und Stärke verursacht wird, verhindert allerdings die Schaumbildung. Zur Schaumstabilisierung können unter bestimmten Bedingungen auch Schwebstoffe beitragen, die in der Flüssigphase vorkommen. Es handelt sich dabei beispielsweise um Faserbruchstücke (z. B. Zellstoff-, Kunststoff- und Mineralfasern), Pigmente, Kalkseifen und Metallhydroxide. Der Schaum kann sich dann zwischen den Feststoffen bilden. Kommt es zu einer Trocknung, erreicht eine derartige Mischung eine hohe Festigkeit (für mehr Informationen MOELLER et al., 2013a). Eine Unterteilung der Schäume nach ihrer Beschaffenheit zeigt Harald Lindorfer auf Seite 46.

Praxiserfahrungen von Biogasanlagenbetreibern zur Schaumbildung

Eine Umfrage in Form eines Experteninterviews zeigte die Relevanz der Erforschung des Phänomens der Schaumbildung im Biogasprozess. Hierzu wurden jeweils sechs Anlagenbetreiber aus Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen, die in ihren Biogasanlagen biogene Abfälle als Substrate nutzen, kontaktiert. Fünfzehn Anlagenbetreiber waren bereit, über ihre Erfahrungen mit der Schaumbildung in ihrer Biogasanlage Auskunft zu geben. Im Ergebnis wurde festgestellt, dass lediglich drei der teilnehmenden Biogasanlagen nie Probleme mit übermäßiger Schaumbildung im Fermenter hatten. Von den zwölf Anlagen, die bereits mindestens ein Schaumereignis hatten, kam es bei sieben zu wiederkehrenden Problemen mit Schaumbildung. Zwei Anlagen waren nur einmalig von einem Schaumereignis betroffen. Weitere drei Anlagenbetreiber gaben an, die Schaumbildung mittlerweile in Griff bekommen zu haben. Zwei davon haben allerdings im späteren Verlauf des Projektes wieder Probleme mit Schaum gemeldet.



Foto: DBFZ



sodass das Biogas nicht zum Blockheizkraftwerk gelangen konnte und durch die Überdrucksicherung ungenutzt entwich.

Der Einfluss von Prozessstörungen auf die Treibhausgasbilanz wird im Beitrag von DANIEL-GROMKE et al. (ab Seite 25) vorgestellt. Aber auch die Überdrucksicherung selbst konnte durch den Schaum verunreinigt werden. Um den abgesetzten Schaum zu beseitigen, mussten die Gasleitungen und Überdrucksicherungen gespült werden. Der Schaum hinterließ auch Verkrustungen an der Reaktorwand, die schwer zu säubern waren.

Da Schaum zum größten Teil aus Gas besteht, kommt es bei seinem Auftreten häufig zur Störung von Messsonden und Rezirkulatpumpen. Ein Anlagenbetreiber berichtete, dass sich während eines Schaumereignisses der ganze Fermenterinhalt zu einer schaumigen Masse verwandelte und das Dach des Biogasfermenters so sehr beschädigte, dass dieses ersetzt werden musste. Die Gesamtkosten dieses Ereignisses lagen bei 500.000 €. Jedoch sind die ökonomischen Folgen selten so drastisch. In den meisten Fällen führen Schaumereignisse aber für die Anlagenbetreiber zu Kosten für zusätzliche Arbeitsstunden des Personals, Antischaummittel sowie der Reinigung des überschäumten Reaktors und seiner Peripherie. Darüber hinaus kommt es zu Ertragseinbußen durch nicht genutztes Biogas, das durch die Überdrucksicherung entweicht, sowie durch Energiemehraufwand aufgrund des zusätzlichen Rührens. Der schnellere Rührverschleiß bei intensiverer Nutzung durch verlängerte Rührintervalle spielt auch eine bedeutende ökonomische Rolle. Möglichkeiten der automatischen Prozessüberwachung zur Vermeidung von Prozessstörungen zeigt WIESE (ab Seite 56).

Als Ursachen der Schaumbildung wurde sehr häufig die organische Überlastung des biologischen Systems identifiziert. 46 % der Befragten erkannten die Ursache des Schäumens in spezifischen Substraten. Zu diesen Substraten zählten Fettabscheiderinhalte, eiweißhaltige Schlachtabfälle, Tenside und zellulosehaltige Abfälle der Papierindustrie. In zwei Fällen wurde Spurenelementmangel als Schaumursache angegeben. Ein Viertel der Befragten konnte keine Ursachen für die Schaumbildung identifizieren. Die Ergebnisse der Umfrage wurden in der Zeitschrift Landtechnik (MOELLER et al., 2012a) und der Zeitschrift Energy, Sustainability and Society (MOELLER & GÖRSCH, 2015) veröffentlicht. Ein tiermedizinisch ausgebildeter Anlagenbetreiber machte auf die Ähnlichkeit des Problems der Schaumbildung in Biogasanlagen mit der sogenannten Pansentympanie – Blähung im Pansen von Wiederkäuern – aufmerksam. Dieser wichtige Hinweis gab einen entscheidenden Impuls für die weitere Erforschung des Schäumens bei der anaeroben Vergärung. Einen Überblick zur Schaumbildung in Biogasanlagen und zur Blähung im Pansen von Wiederkäuern gibt ein Artikel von MOELLER et al. (2012b), der gemeinsam mit dem Institut für Bakteriologie und Mykologie der Veterinärmedizinischen Fakultät der Universität Leipzig publiziert wurde. Das Ergebnis des Vergleichs dieser beiden Störungen ergab, dass die Schaumbildung in Biogasanlagen und im Pansen von Wiederkäuern hinsichtlich ihrer Ursachen aber auch möglicher Bekämpfungsstrategien viele Ähnlichkeiten aufweisen. Ein Wiederkäuer hat allerdings gegenüber einer Biogasanlage gewisse Vorteile, wie ein funktionierendes

Die Anlagenbetreiber beschrieben unterschiedliche von ihnen angewandte Strategien für die Bekämpfung des Schaums. Die häufigste Maßnahme war das Senken der organischen Belastung der Biogasanlage durch verminderte Substratzufuhr (sogenannte „Hungerkur“). Weiterhin wurde der Flüssigkeitspegel im Fermenter herabgesetzt, damit genügend Raum für die schäumende Masse zur Verfügung steht. Um den Schaum unterzurühren, wurden die Rührintervalle verkürzt und die in der Höhe verstellbaren Rührer knapp unter der Oberfläche positioniert. Als Sofortmaßnahme wurde auch Wasser, Pflanzenöl oder kommerzieller Entschäumer auf die Oberfläche des Fermenterinhalt versprüht oder dem Substrat zugegeben. Lediglich drei Anlagenbetreiber nutzten chemische Antischaummittel zur Schaumbekämpfung. Weitere drei Anlagenbetreiber lösten Schaumprobleme in ihrer Biogasanlage durch die Optimierung der Betriebsbedingungen: Umstellung des Rührzyklus und Fütterungsintervalls sowie die Zugabe von Spurenelementen. Patrick Pfeffer (ab Seite 44) zeigt Schaumereignisse aus Betreiberperspektive und Dorothea Telschow (ab Seite 62) diskutiert praxistaugliche Gegenmaßnahmen bei Schaumereignissen.

Den Berichten der Anlagenbetreiber zufolge, wurden durch die Schaumbildung unterschiedliche Schäden verursacht. Am häufigsten kam es zur Verstopfung der Gasleitung,

Immunsystem und die eigene Befindlichkeitskontrolle: Ein Rind hört auf, Nahrung zu sich zu nehmen, wenn es ihm nicht gut geht. Das kann eine Biogasanlage nicht leisten, sodass der aufmerksame Anlagenfahrer für seine „Betonkuh“ mitdenken muss.

Untersuchung der Schaumbildung in der Praxis

Die Umfrage von Betreibern der Abfall behandelnden Biogasanlagen zeigte, dass 80 % der Abfallanlagen Probleme mit Schaum haben oder hatten und 25 % der Anlagenbetreiber die Ursachen der Schaumbildung nicht erkennen konnten. Da die Identifizierung der Ursachen eines Problems das zentrale Element für seine Lösung ist, wurde im weiteren Verlauf der Forschung den Ursachen der Schaumbildung intensiv nachgegangen. Um möglichst praxisnah zu arbeiten, wurden betroffene Biogasanlagen direkt besichtigt, beprobt und die Betriebsdaten analysiert. Allgemein wurde dabei festgestellt, dass die meisten schäumenden Biogasanlagen einen stabilen Prozess der mikrobiologischen Substratumsetzung aufweisen. Parameter, die generell als Indikatoren des Zustandes des mikrobiologischen Umsetzungsprozesses von Substrat zu Methan gelten, z. B. die Konzentrationen von Acetat, Propionat und Butyrat, der FOS/TAC-Wert und die Ammonium-Stickstoff-Konzentration, waren in den betroffenen Anlagen meistens unauffällig. Weiterhin wurde festgestellt, dass Biogasanlagen, die biogene Abfälle vergären, häufiger von akuten Schaumereignissen betroffen werden als Anlagen, die nachwachsende Rohstoffe als Substrat nutzen (NawaRo-Anlagen). Im Gegensatz dazu war bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen die Schaumbildung öfter chronischer Natur. Zwanzig schäumende Biogasanlagen wurden bisher untersucht. Dreizehn davon waren landwirtschaftliche Biogasanlagen und sieben abfallverärende Anlagen. Die Ergebnisse wurden in einem

UFZ-Bericht (MOELLER et al., 2013a) und in einer Publikation (MOELLER & GÖRSCH, 2015) veröffentlicht. Weitere Analysen und Forschungsergebnisse, die in Kooperationen mit Anlagenbetreibern und anderen Forschungseinrichtungen entstanden sind, werden in diesem Fokusheft von LIENEN et al. (ab Seite 14), NÄGELE (ab Seite 37) und RÜSCH PFUND et al. (ab Seite 30) vorgestellt.

In vielen Fällen war die übermäßige Schaumbildung mit der Nutzung von konkreten Substraten verbunden (Abbildung 1): In neun von dreizehn chronisch schäumenden NawaRo-Anlagen und bei sieben von zwölf akuten Schaumereignissen in Abfallanlagen wurden Substrate als Schaumursache identifiziert. In vier Fällen war die Ursache der Schaumbildung einer anderen Natur. Einmal kam es zur plötzlichen Temperaturerhöhung um 3 K, in einem anderen Fall waren starke Ablagerungen im unteren Teil des Fermenters die Ursache des Schäumens und zweimal waren Chemikalien für die Schaumbildung verantwortlich. Dabei handelte es sich um ein Desinfektionsmittel für die Säuberung einer Ferkelzuchtanlage und um ein Polymer zur Flotation, das in falscher Konzentration angewendet wurde. In fünf Fällen (entspricht 21 %) ist es bisher nicht gelungen, eine Ursache für die Schaumbildung zu finden.

Zu den Substraten, die am häufigsten als Schaumverursacher identifiziert wurden, gehören Getreide und Getreidespreu (29 % aller Substrate, die zur Schaumbildung führten). Aus diesem Grund wurde die weitere Forschung auf dieses Substrat fokussiert, um Strategien zur Vermeidung der Schaumbildung bei der Nutzung von Getreide zu entwickeln (Abschnitt 6). Auch proteinhaltige Substrate (z. B. tierische Nebenprodukte und Hefe) und kohlenhydrathaltige Substrate (Zuckerrübe, Abschnitt 7) verursachten Schaumprobleme im Biogasfermenter. In zwei Fällen wurden mit Hilfe einer mikroskopischen Analyse fadenförmige Mikroorganismen im Schaum gefunden. Diese beiden

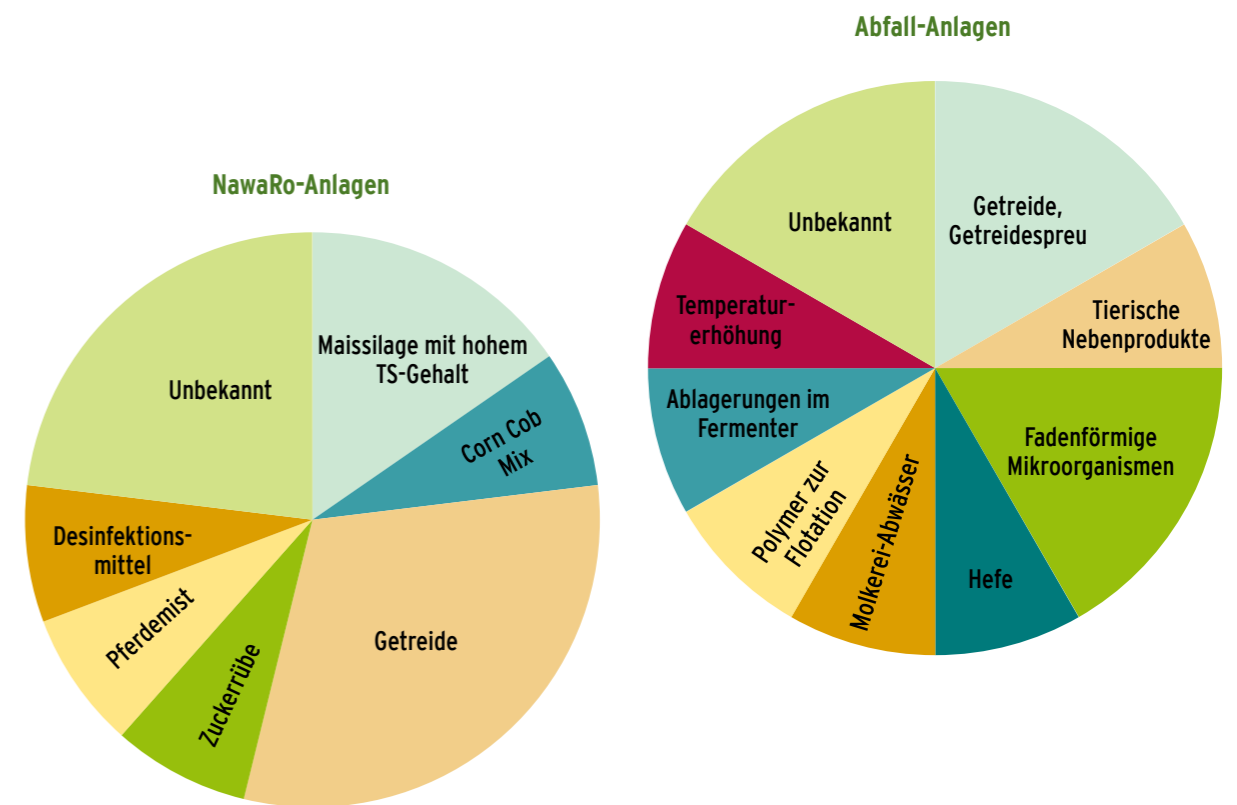


Abbildung 1: Ursachen der Schaumbildung in untersuchten NawaRo- und Abfallbiogasanlagen

Anlagen bearbeiteten Schlämme aus Kläranlagen. Überraschend war die Erkenntnis, dass Maissilage, der für die Biogasproduktion mit Abstand am häufigsten genutzte nachwachsende Rohstoff, unter bestimmten Bedingungen chronische Schaumbildung verursachen kann. Maissilage mit Trockensubstanzgehalten von 35 - 40 % führte im Fall von zwei Biogasanlagen zu ernsthaften Problemen (NÄGELE et al., ab Seite 37).

Laborversuche und Analysen

Im Rahmen der Untersuchung der Schaumbildung fanden auch Versuche und Analysen im Labor statt. Dies erwies sich allerdings zunächst als eine schwierige Aufgabe, weil die herkömmlichen Methoden zur Ermittlung der Schaumneigung von Flüssigkeiten, wie beispielsweise die Messung der Oberflächenspannung und der sogenannte „Bubble-Test“ (Abbildung 2), sich als nicht anwendbar für strukturreiche Materialien, wie das Gärmaterial, erwiesen haben. Es war zwar möglich, die Oberflächenspannung nach dem Abzentrifugieren der Festpartikel mit Hilfe eines Tropfentensiometers zu messen, jedoch ließen die Werte keine Rückschlüsse auf die Anwesenheit von oberflächenaktiven Substanzen zu. Auch der Bubble-Test erwies sich als ungeeignet. Er ist eine Methode, bei der das Schaumpotenzial einer Substanz in einer Flüssigkeit gemessen wird, indem die Lösung in einem Messzylinder begast wird und der gebildete Schaum hinsichtlich seiner Höhe und Stabilität beurteilt wird. Mit Flüssigkeiten funktioniert der Test hervorragend und kann für die Beurteilung der Effektivität der Antischaummittel genutzt werden (Abschnitt 5). Für die Untersuchung der Schaumneigung von Substraten im Gärmaterial ist dieser Test allerdings nicht anwendbar, weil er nur die momentane Situation darstellt und nicht das Verhalten der Substrate während ihrer Vergärung. Außerdem war diese Methode für Gärmaterial mit hohem Trockensubstanzgehalt nicht geeignet, weil die Fritte, die zur Gasverteilung diente, verstopft wurde.



Abbildung 2: Bubble-Test mit Gärmaterial und Eiweißpulver

Die Messung der Viskosität zeigte gute Ergebnisse. Vor allem in Gärmaterial, wo Polysaccharide an der Schaumbildung beteiligt sind, spielt die Viskosität eine bedeutende Rolle. Allerdings werden die Messungen durch die faserigen Strukturen im Gärmaterial stark beeinträchtigt und die Ergebnisse sind demzufolge mit großen Fehlern behaftet. Aus diesem Grund musste das Gärmaterial vor der Messung durch ein Sieb mit 10 mm Porengröße gesiebt werden. Analytische Messungen für die Beurteilung des mikrobiologischen Prozesses, wie FOS/TAC und die Konzentrationen von einzelnen flüchtigen organischen Säuren, zeigten sich im Fall der Schaumbildung als wenig hilfreich, weil die Prozesse auf der Basis dieser Parameter meistens als stabil eingeordnet werden konnten, obwohl der Biogasfermenter drohte überzuschäumen. Deshalb wurde das Spektrum der Analysen um die Bestimmung der Kohlenhydrate nach Dubois (1956) und die Bestimmung der Proteine in Anlehnung an die Methode von DUMAS (1831) erweitert. Denn sowohl Kohlenhydrate als auch Proteine spielen bei der Schaumbildung eine wesentliche Rolle.

Weil es oft unmöglich war, an den Praxisanlagen Schaum zu beproben, waren Laborversuche für die Untersuchung der Beschaffenheit der Schäume unerlässlich. Hierfür wurde ein Schaumtest entwickelt (Abbildung 3). Es handelt sich um eine einfache Methode, mit der es erstmalig möglich wurde, die Schaumneigung von Substraten im Gärmaterial praxisnah im Labormaßstab zu untersuchen. Dieser Test ermöglicht die Untersuchung verschiedener Effekte auf die Schaumneigung von Substraten und demzufolge auch die Entwicklung von Strategien der Schaumvermeidung, wie in den Abschnitten 6 und 7 im Detail beschrieben wird.

Damit der Schaumtest von Anlagenbetreibern vor Ort genutzt werden kann, muss er robust und einfach zu bedienen sein. Mit diesen Vorgaben wurde das Testset **LEIPZIGER SCHAUMTESTER** entwickelt. Es handelt sich um ein Gerät zur konstanten Temperierung einer Glasflasche, in der Schaumversuche durchgeführt werden können. Dieses Testset wurde als Gebrauchsmuster geschützt (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, 2013) und erwies sich bei einer Vielzahl von Versuchen als praxistauglich.

Weil die Schaumbildung in Schaumtests während des ersten Tages am stärksten ist, ist davon auszugehen, dass in dieser Zeit die Schaum fördernden Substrate in Wechselwirkung mit der Flüssigphase schaubildende bzw. stabilisierende Stoffe in die Flüssigkeit austreten lassen. Diese werden von den Mikroorganismen nicht sofort umgesetzt und stabilisieren die Lamellen der Schaumblasen. Für die Charakterisierung dieser Stoffe eignet sich deshalb die Analyse der Eluate der Substrate nach Elution mit Wasser (Abbildung 4). Hierfür wird das Substrat mit Leitungswasser im Verhältnis 1:4 vermischt und 18 Stunden auf einem Überkopfschüttler eluiert.

Alle in diesem Kapitel vorgestellten Methoden für die Untersuchung der Schaumbildung im Prozess der anaeroben Vergärung wurden in der „Messmethodensammlung Biogas“ ausführlich beschrieben (LIEBETRAU et al., 2013).

Effektivität von Antischaummitteln

Wie die Umfrage über Schaumbildung in Biogasfermentern zeigte, sind die Meinungen und Erfahrungen der Biogasanlagenbetreiber zum Einsatz von chemischen Mitteln bei einer Schaumbekämpfung unterschiedlich. Der Grund ist,



Abbildung 3: Schaumtests mit 0 (Referenz), 10, 25, 50 und 100 g Zuckerrübensilage (von links nach rechts)

dass jedes Antischaummittel eine andere Wirkungsweise hat und deswegen nicht universell für alle Schäume einsetzbar ist. Entschäumer sind kompliziert formulierte Produkte, die grenzflächenaktive Stoffe, Öle und hydrophobe Partikel (z. B. Kieselsäure) beinhalten. Bei der Wahl des geeigneten Antischaummittels ist es zudem wichtig zu beachten, dass silikonöhlhaltige Entschäumer für Biogasanlagen nicht geeignet sind, weil das Silizium in Form von Siloxan ins Biogas übergeht und zum Verschleiß im Motor des BHKWs durch Siliziumablagerungen führt. Obwohl es auf dem Markt eine große Auswahl von Entschäumern für Biogasanlagen gibt, erfolgt die Wahl des geeigneten Mittels gegen den jeweiligen Schaum letztendlich meistens nach dem Versuchs- und Irrtum-Verfahren.

Aus diesem Grund wurden auch herkömmliche Antischaummittel auf ihre Effektivität sowie auf ihren Einfluss auf den mikrobiologischen Prozess der Biogasproduktion untersucht. Die Effektivität wurde mit Hilfe von drei Faktoren

ermittelt. Die Abhängigkeit der Oberflächenspannung eines Schaums aus einer Biogasanlage von der Entschäumerkonzentration zeigte, wie schnell die Oberflächenspannung des Schaums soweit herabgesetzt wird, dass der Schaum in sich zusammenbricht. Als weitere Methode diente ein Bubble-Test, in dem der Einfluss der Antischaummittel auf das Schaumpotenzial einer Standardproteinlösung bestimmt wurde. Schließlich wurde in einem Schaumexperiment mit Fermenterinhalt und Eiweißpulver als Substrat unter Zugabe der Entschäumer deren Effektivität ermittelt. In Batch-Tests wurde der Einfluss der Antischaummittel auf den Biogasprozess untersucht. Die Übersicht der Ergebnisse ist in Tabelle 1 dargestellt. Bei der Bewertung schnitt der Entschäumer ASM 2 am besten ab. Er zeigte eine gute Wirkung mit hoher Geschwindigkeit bei der Herabsetzung der Oberflächenspannung und in einer Minimierung des Schaumpotenzials des Modellschaums bereits bei niedrigen Konzentrationen. Darüber hinaus hatte

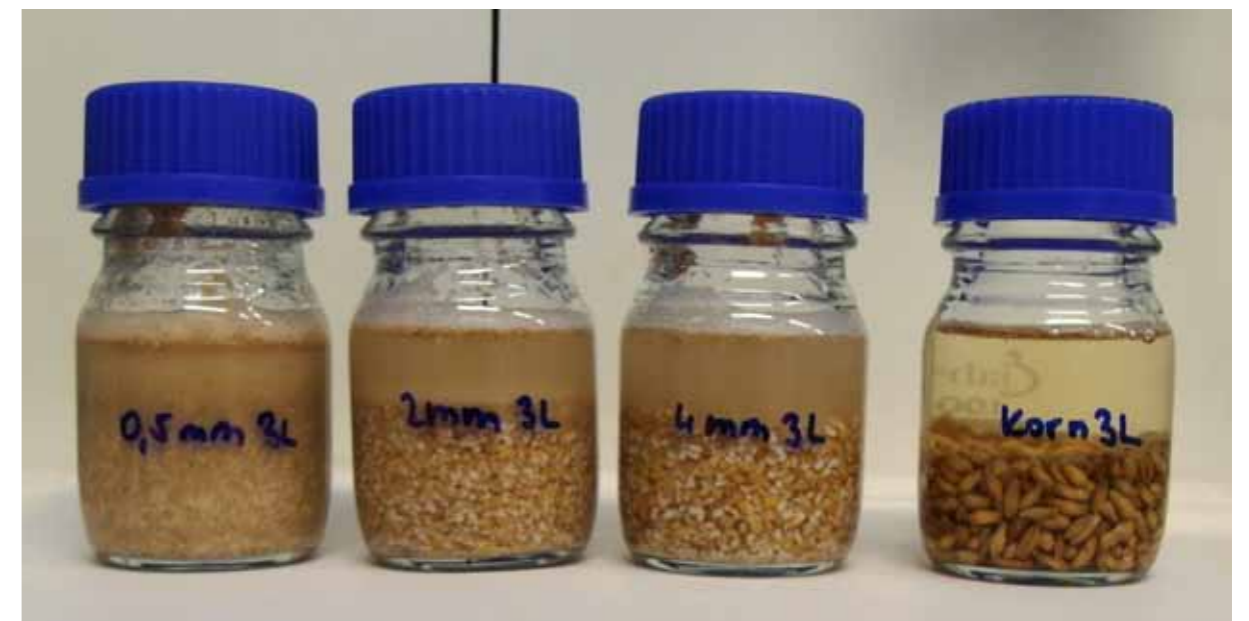


Abbildung 4: Elution von Triticaleschrot (Mahlstufe: 0,5 mm, 2 mm und 4 mm) und Korn

das Antischaummittel ASM 2 keine negative Wirkung auf die Biogasbildung und wurde zu Biogas umgesetzt. Eine schlechte Effektivität in der Schaumbekämpfung zeigte das sehr häufig genutzte Rapsöl. Als positiv ist bei diesem aber zu beurteilen, dass Rapsöl ein natürliches Produkt ist, das aufgrund seines niedrigen Preises und seiner guten Verfügbarkeit in größeren Mengen eingesetzt werden kann, ohne die Biozönose negativ zu beeinflussen. Allerdings ist zu beachten, dass sich die Mikroorganismen an das Rapsöl gewöhnen können, wie bereits von einigen Anlagenbetreibern beobachtet wurde. Dann wird es unter Umständen wirkungslos. Die einzelnen Ergebnisse der Untersuchungen sind im Detail in MOELLER et al., 2013a dargestellt.

Einfluss von Getreide auf die Schaumbildung

Bei drei chronisch schäumenden Praxisanlagen wurde Getreideschrot als Ursache der Schaumbildung identifiziert. Die erste Biogasanlage schäumte ein Jahr lang. Der Anlagenbetreiber gab an, jeden Tag 20 L von einem kommerziellen Entschäumer (ASM 2) und 30 L Pflanzenöl als Maßnahme gegen die Schaumbildung zu nutzen. Analysen der Proben aus dieser Anlage zeigten eine ausgewogene mikrobiologische Umsetzung des Substrates. Als Schaumsursache wurde anhand der Betriebsdaten Roggenschrot identifiziert, das lediglich 4 % der Feuchtmasse im Substratmix ausmachte. Der Verzicht auf Roggenschrot führte zur Rückbildung des Schaums und der Anlagenbetreiber konnte den teuren Entschäumer absetzen.

Die zweite Biogasanlage schäumte vier Monate sehr stark. Es handelt sich um eine zweistufige Anlage mit einer Hydrolysestufe und zwei Fermentern. Die Hydrolysestufe war nicht betroffen, aber in beiden Fermentern war die Schaumbildung heftig. Im Schaumtest wurde als Ursache des Schäumens Triticaleschrot identifiziert, das 10 % der Feuchtmasse des Substratmix ausmachte. Nach dem Absetzen des Schrots verschwanden auch die Schaumprobleme. Ein Ergebnis der Literaturrecherche zur Blähung im Pansen

von Wiederkäuern war, dass die Mahlstufe des Getreideschrots einen entscheidenden Einfluss auf den Krankheitsverlauf hat - je feiner das Korn gemahlen wurde, desto schwerwiegender war die Erkrankung des Tieres. Mit Hilfe der Schaumtests wurde nachgewiesen, dass diese Regel auch für die Biogasanlage gültig ist (MOELLER et al., 2013b). In Abbildung 5 ist eine Serie von Schaumtests mit verschiedenen Mahlstufen von Triticaleschrot dargestellt. In Versuchen zur Ermittlung des Biogasertrags konnte gezeigt werden, dass die Mahlstufe keinen entscheidenden Einfluss auf die Biogasausbeute hat.

Eine Umsetzung dieser Erkenntnisse in der Praxis führte zur Lösung des Schaumproblems der dritten Biogasanlage, die sechs Monate so stark geschäumt hat, dass nur 80 % des Arbeitsvolumens des Fermenters genutzt werden konnte. Seitdem der Betreiber dieser Biogasanlage das Getreide nicht mehr mahlt, sondern nur quetscht, hat er keine großen Probleme mehr mit der Schaumbildung.

Ein Anlagenfahrer berichtete, dass er trotz Vergärung von feinem Getreideschrot keine Probleme mit der Schaumbildung hat. Der Grund lag darin, dass in der Mühle als Maßnahme gegen Staubentwicklung während des Mahlprozesses dem Getreide 1 % Sojaöl zugesetzt wird. Eine Überprüfung in Schaumtests zeigte für Sojaöl im Getreideschrot eine Verringerung der Schaumbildung um 45 - 64 %. Eine mögliche Strategie der Schaumvermeidung bei der Vergärung von Getreide ist die Nutzung von ganzem Korn. Versuche im Batchsystem zeigten, dass die Vergärung von ganzem Korn im Vergleich zu Schrot um bis zu 20 % (bei Weizen, Triticale und Roggen) bzw. bis zu 33 % (bei Gerste) weniger Biogasertrag bringt. Eine Überprüfung im einmal täglich beschickten (quasi-kontinuierlichen) Biogasreaktor mit 30 L Arbeitsvolumen führte zur Erkenntnis, dass sowohl im Fall von Triticale als auch bei Gerste die Mikrobiologie in der Lage ist, ihre enzymatische Ausstattung auf das neue Substrat anzupassen. Die Ausnutzung der ganzen Körner wurde hier nicht untersucht. In die Praxis übertragbare Ergebnisse dazu dürften sich in derartigen Laborgärtests



Abbildung 5: Schaumtests mit Triticaleschrot (Mahlstufe: 0,5 mm, 1 mm, 2 mm und 4 mm) und -korn und Referenz ohne Zugabe von Triticale.

aber auch nicht gewinnen lassen. Im Fall von Triticale dauerte die Umstellung fünf Tage, bei Gerste zwölf Tage. Eine umfassende Studie zur Vergärung von unzerkleinertem Roggenkorn wurde im Praxismaßstab von WEISSBACH durchgeführt (ab Seite 18, in diesem Heft). In dieser Studie wurde nachgewiesen, dass bei Roggenkorn unter bestimmten Bedingungen ohne Effizienzverlust auf eine Zerkleinerung ganz verzichtet werden kann.

Schaumbildung und -bekämpfung bei der Vergärung von Zuckerrüben

Zahlreiche Anlagenbetreiber berichteten über Schaumprobleme in Verbindung mit der Vergärung von Zuckerrüben. Zuckerrübe ist ein hervorragendes Substrat für die Biogaserzeugung, weil sie gut vergärbare ist und sehr gute

Methanerträge bringt. Aufgrund der Einführung der Limitierung der Nutzung von Mais und Getreide in der EEG-Novelle 2012 hat Zuckerrübe als Substrat für Biogasanlagen an Wichtigkeit gewonnen.

Frühere wissenschaftliche Untersuchungen zeigten, dass Zuckerrübenmus unter thermophilen Bedingungen weniger zum Schäumen neigt als unter mesophilen Temperaturen. Weiterhin wurde festgestellt, dass die Schaumneigung von Zuckerrübenmus bei Monovergärung im zweistufigen System niedriger ist als bei einer einstufigen Fermentation. Da aber die meisten Biogasanlagen in Deutschland einstufig und mesophil sind, sind diese Ergebnisse für die praktische Anwendung nur begrenzt nutzbar. Aus diesem Grund wurden praxisnahe Methoden der Schaumvermeidung bei der Vergärung von Zuckerrüben entwickelt (MOELLER et al., 2015). Die Basis für die Untersuchungen bildeten Schaumtests im Labor und Erfahrungen von zwei Praxisanlagen,

Tabelle 1: Untersuchung der kommerziellen Antischaummittel (ASM) auf ihre Effektivität, (Moeller et al., 2013a)

Bezeichnung	Zusammensetzung	Preis [€/L] bzw. [€/kg] im Jahr 2012	Effektivität der ASM			Umsetzung zu Biogas
			Oberflächen-spannung	Bubble-Test	Schaum-Test	
ASM 1	Fettsäuren, Fettsäureester, langkettige Alkohole	5 - 6*	+	-	++	+
ASM 2	Fettsäuren, Fettsäureester, langkettige Alkohole	5 - 6*	+	+	++	+
ASM 3	Fettsäureester, Alkohole	3,5 - 5,6*	+	-	-	-
ASM 4	natürliche Fette, Fettsäuren, Alkohole, Emulgatoren	3,5 - 5,6*	+	+/-	+	+
ASM 5	5-Komponenten-System aus Fettsäure-Ester, Fettalkoholen und Kieselsäure	4	+/-	+	+	-
RAPSÖL	Fettsäuren	1,4	-	-	+/-	+

*Preis je nach bestellter Menge



Abbildung 6: Schaumtests mit 40 g unterschiedlich zerkleinerter Zuckerrübe: 1 cm Würfel, 0,5 cm Würfel, gerieben und püriert (von links nach rechts).



Foto: DBFZ

wobei die erste trotz relativ hohem Zuckerrübenanteil im Substratmix (13 % Feuchtmasse) keine Schaumprobleme hatte und die zweite während der saisonalen Zuckerrübenvergärung (7 % Feuchtmasse) regelmäßig schäumte. Die Schaumtests zeigten deutlich, dass wie im Fall von Getreide auch bei der Zuckerrübe der Desintegrationsgrad eine wesentliche Rolle spielt: Je feiner die Zuckerrübe zerkleinert wurde, desto intensiver schäumte der Versuchsansatz. Bei der schäumenden Biogasanlage wurden die Zuckerrüben zu Mus verarbeitet, im anderen Fall wurden die Zuckerrüben in größere Stücke gehäckselt. Dank der beiden Praxisanlagen konnten auch zwei gegensätzliche Effekte, die die Intensität der Schaumbildung bei der Vergärung von Zuckerrübe beeinflussten, entdeckt werden. Kalk intensiviert die Schaumentwicklung und Harnstoff minimiert sie. Das erste Phänomen wurde entdeckt, nachdem der Anlagenbetreiber beobachtete, dass die Schaumbildung im mit Zuckerrüben beschickten Biogasfermenter besonders stark war, wenn im Rinderstall, dessen Gülle in der Biogasanlage verwertet wurde, häufiger gesäubert wurde. Da nach der Stallreinigung zur Desinfektion Dolomitmalk verwendet wurde, lag der Verdacht nahe, dass dieses Material einen Einfluss auf die Schaumbildung haben könnte. Eine Schaumtest-Serie im Labor bestätigte diese Vermutung (Abbildung 7). Mit Hilfe von weiteren Schaumexperimenten wurde festgestellt, dass allgemein zweiwertige Ionen (Ca^{2+} , Mg^{2+}) die Schaumbildung, die durch Zuckerrüben verursacht wird, intensivieren. Diese Beobachtung unterstützte die Annahme, dass Pektin die schaumbildende Komponente der Zuckerrübe ist, weil in der Lebensmittelindustrie die stabilisierende Wirkung von Calciumchlorid auf Pektin genützt wird. Pektin und zweiwertige Ionen verhielten sich im Schaumtest ähnlich wie Zuckerrübe und Dolomitmalk. Demgegenüber hatten Salze von einwertigen Ionen (NaCl , KCl) keinen Einfluss auf die Schaumintensität bei der Vergärung von Zuckerrüben, mit Ausnahme von Am-

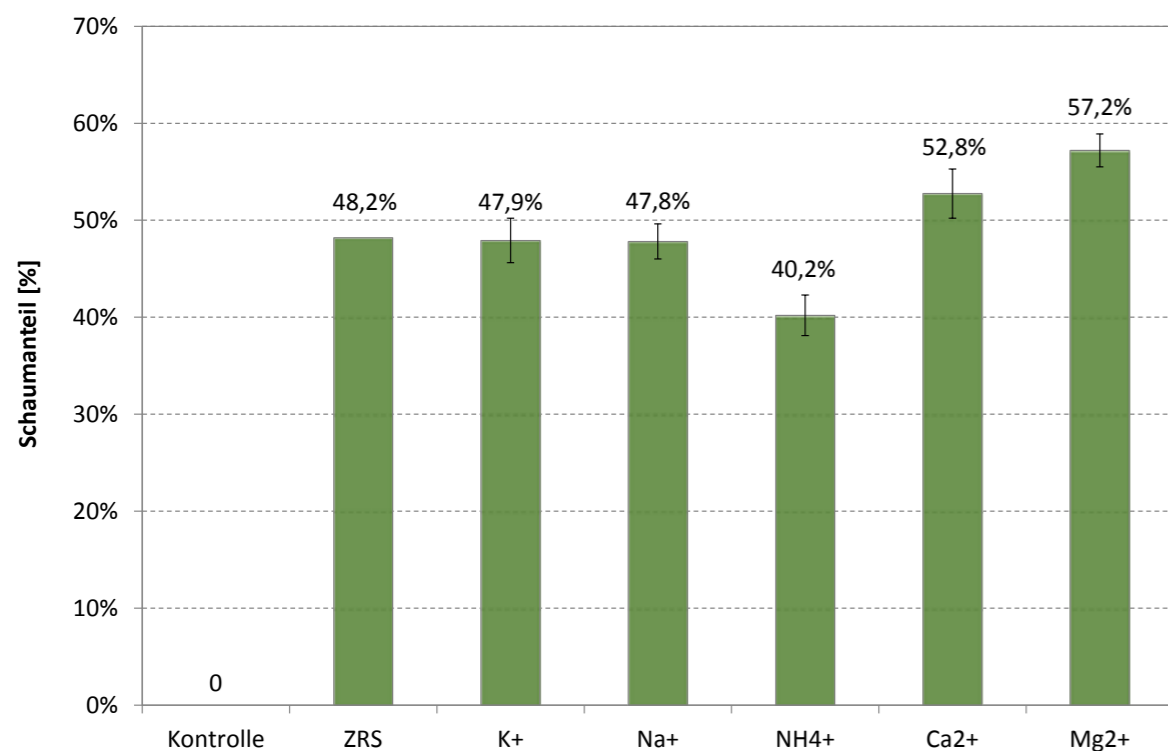


Abbildung 7: Schaumanteil in Schaumtests mit 40 g Zuckerrübensilage nach der Zugabe von 5 g Salz von ein- bzw. zweiwertigen Ionen.



Abbildung 8: Schaumtests zur Ermittlung der Wirkung von Harnstoff auf die Intensität der Schaumbildung bei Vergärung von Zuckerrübe (von links nach rechts: Referenz (ohne Zugabe von Substrat), Zugabe von 5 g Harnstoff, Zugabe von 40 g Zuckerrübensilage, Zugabe von 40 g Zuckerrübensilage und 5 g Harnstoff)

moniumchlorid, das die Schaumentwicklung bremste. Die daraus folgende Erklärung war, dass das Ammoniumsalz zur Senkung des C/N-Verhältnisses im Gärmaterial führte. Durch die Zugabe von stark kohlenstoffhaltiger Zuckerrübe verschob sich dieses Verhältnis in Richtung Kohlenstoff und das Substrat konnte von den Mikroorganismen nicht vollständig umgesetzt werden. Eine Überprüfung im Schaumtest zeigte, dass nicht nur Ammoniumchlorid, sondern auch Harnstoff (Abbildung 8), Ammoniumnitrat und Kaliumnitrat einen minimierenden Einfluss auf die Schaumbildung haben. Das Düngemittel Kalkstickstoff verhinderte die Schaumbildung komplett, dieser Effekt wird aber durch eine Hemmung der Mikrobiologie verursacht, wie im Biogas-ertragstest festgestellt wurde. Die Ergebnisse der Laborexperimente wurden in der Praxis verifiziert. In der Praxisanlage, die trotz hohem Anteil an Zuckerrüben im Substratmix keine Probleme mit der Schaumbildung hatte, waren in der Anfahrphase zur Einstellung des C/N-Verhältnisses zweimal zwei Tonnen Harnstoff zum Substrat zugesetzt worden. Eine Applikation von einer Harnstoff-Lösung in die chronisch schäumende zweite Praxisanlage führte zur Rückbildung der Schaumschicht binnen zwei Tagen. Der Anlagenbetreiber konnte von permanentem Rühren wieder auf einen Rührzyklus von 5 Minuten pro Stunde umstellen. Die Zugabe der Harnstofflösung musste nach zwei Monaten wiederholt werden, da das Gärmaterial erneut zu schäumen anfang. Auch diesmal war die Maßnahme erfolgreich.

Fazit

Seit Beginn des Projektes „Optgas“ wurden umfangreiche Kenntnisse über die Schaumbildung in Biogasanlagen gewonnen. Es wurden neue Methoden für die Erforschung der Schaumbildung bei der anaeroben Vergärung entwickelt, neue Schaumbekämpfungsstrategien für die Nutzung zur Schaumbildung beitragender Substrate, wie Getreide und Zuckerrübe, wurden entwickelt und in der

Praxis erfolgreich umgesetzt. Allerdings gibt es immer noch Fragen, die auf ihre Klärung warten. Es gibt immer noch unbekannte Ursachen der Schaumbildung, aber auch unklare Hintergründe wie z. B. im Fall von Schaum verursachenden Maissilagen mit hohem Trockensubstanzgehalt. Forschungsbedarf gibt es auch hinsichtlich der Vermeidung der übermäßigen Schaumbildung bei der Nutzung von bekannten Schaum födernden Substraten wie tierischen Nebenprodukten. Das Thema „Schaumbildung in der anaeroben Vergärung“ bleibt deshalb auch weiter vielschichtig und interessant.

Referenzen

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, GmbH (2013): Testset zur Bestimmung der Schaumneigung von Substrat für Biogasanlagen. Gebrauchsmuster, DE 202013000693U1.

Liebetrau, J.; Pfeiffer, D.; Thrän, D. (Hrsg.) (2013): Messmethodenammlung Biogas: Methoden zur Bestimmung von analytischen und prozessbeschreibenden Parametern im Biogasbereich (Schriftenreihe des BMU-Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“, Band 07). 2. Aufl., Leipzig 2013. – ISSN 2192-1806

Moeller, L.; Görsch, K.; Müller, R.A.; Zehndorf, A. (2012a): Bildung von Schaum in Biogasanlagen und seine Bekämpfung – Erfahrungen aus der Praxis. In: *Landtechnik*. 67 (2), S. 110-113.

Moeller, L.; Görsch, K.; Neuhaus, J.; Zehndorf, A.; Müller, R.A. (2012b): Comparative Review of Foam Formation in Biogas Plants and Ruminant Bloat. In: *Energy, Sustainability and Society*. 2:12.

Moeller, L.; Görsch, K.; Köster, Y.; Müller, R.A.; Zehndorf, A. (2013a): Schaumbildung und Schaumvermeidung in Biogasanlagen. UFZ-Bericht 01/2013, Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ – ISSN 0948-9452

Moeller, L.; Krieg, F.; Zehndorf, A. (2013b): Wirkung von Getreideschrot auf die Schaumbildung in Biogasanlagen. In: *Landtechnik*. 68 (5), S. 344-348.

Moeller, L.; Görsch, K. (2015a): Foam formation in full-scale biogas plants processing biogenic waste. In: *Energy, Sustainability and Society*. 5-1.

Moeller, L.; Lehnig, M.; Schenk, J.; Zehndorf, A. (2015b): Foam formation in biogas plants caused by anaerobic digestion of sugar beet. In: *Bioresource Technology*. 178, S. 270-277.



Prozessstörungen: Vermeidung oder Gegenmaßnahme?

Foto: DBFZ

Prozessstörungen wie Schaum, Schwimm- und Sinkschichten sowie Übersäuerungen können zu großen wirtschaftlichen Schäden führen (BALUSSOU et al., 2012). Häufig werden Biogasanlagen deshalb unter ihrer technisch möglichen Raumbelastung betrieben, um das Risiko für das Auftreten von Störungen zu verringern. In der Regel liegen die Raumbelastungen für einen einstufigen Prozess in einem voll-durchmischten Reaktor zwischen 1 und 4,5 kg oTS m⁻³ d⁻¹ (DWA, 2009, RÖSKE & UHLMANN, 2005, BISCHOFBERGER et al., 2005). So wird zum Beispiel eine Biogasanlage, die mit Mischschlamm, Rückständen aus Fettabseidern und Reststoffen aus der Lebensmittelindustrie beschickt wird, im Sommer mit einer Raumbelastung zwischen 4 und 4,5 kg oTS m⁻³ d⁻¹ betrieben. Weil sie im Winter zur Schaumbildung neigt, wird die Raumbelastung präventiv um 50 % reduziert (LENGEMANN, 2009).

Schaum und Schwimmschicht – Ursache und Gegenmaßnahme?

Diese bei 37 °C betriebene Biogasanlage bestand aus zwei Kaskaden mit jeweils zwei Reaktoren (Kaskade 1 mit R1 und R3 und Kaskade 2 mit R2 und R4), wobei nur der Reaktor R3 zur Co-Vergärung genutzt wurde, während in den anderen Reaktoren nur Mischschlamm eingesetzt wurde. In zwei aufeinanderfolgenden Wintermonaten kam es zu einer Schaumbildung im nachgeschalteten Reaktor R3 von Kaskade 1. Die Zugabe hydrophober Substanzen könnte die Schaumbildung verursacht haben. Allerdings trat in den Sommermonaten mit hoher Fettzugabe keine Schaumbildung auf, so dass vermutlich weitere Faktoren zur Schaumbildung beitrugen. Die Gärreste von Kaskade 1 wurden daraufhin über einen Zeitraum von 15 Monaten sowohl chemisch als auch mikrobiologisch untersucht.

Eine Analyse der mikrobiellen Zusammensetzung des Gärrestes sowie einer Schaumprobe mit Hilfe eines genetischen Fingerprintverfahrens zeigte ein erhöhtes Vorkommen eines Bakteriums im Gärrest des Reaktors mit Schaumbildung sowie im Schaum, das mit dem filamentösen Bakterium *Microthrix parvicella* verwandt ist (LIENEN et al. 2014a). Dieser Mikroorganismus ist bereits aus der Abwassertechnik als Verursacher von Schaum- und Schwimmschichtenbildung bekannt. Da *M. parvicella* ein niedriges Temperaturoptimum und eine hohe Affinität zu Lipiden hat, hat dieser Organismus einen Selektionsvorteil bei geringen Temperaturen und vermehrt sich in Abwasserbehandlungsanlagen verstärkt im Winter. Das mit *M. parvicella* verwandte Bakterium wurde mit dem Mischschlamm in die Reaktoren eingetragen. Entsprechend der höheren Abundanz in den Wintermonaten im Mischschlamm, erhöhte sich auch seine Abundanz in den Reaktoren zur Schlammbehandlung. Zusammen mit der Zugabe von fetthaltigen Co-Substraten führte dies zur Schaumbildung im Reaktor R3. Eine quantitative Analyse der Abundanz des detektierten Organismus mittels qPCR zeigte ebenfalls ein verstärktes Vorkommen während der Schaumbildung sowie jahreszeitliche Unterschiede mit hoher Abundanz im Winter und niedriger Abundanz im Sommer (Abb. 1). Zudem erhöhte sich das Vorkommen des mit *M. parvicella* verwandten Bakteriums vom vorgeschalteten R1 zum nachgeschalteten R3. Dies deutete auf anaerobes Wachstum im Reaktor R3 hin. *M. parvicella* ist fakultativ anaerob und denitrifizierend. Auf Grund des Anlagenbetriebes als Kaskade wäre Nitrat bereits im vorgeschalteten Reaktor R1 denitrifiziert worden, so dass der Zunahme des *M. parvicella*-ähnlichen Organismus vermutlich kein auf Nitratreduktion basierender Stoffwechsel zugrunde lag.

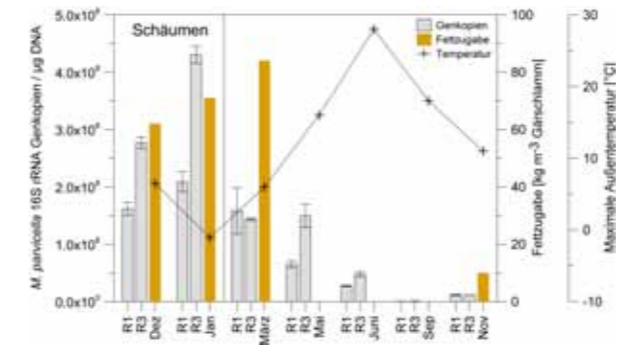


Abbildung 1: Abundanz des mit *Microthrix parvicella* verwandten filamentösen Bakteriums und Fettzugabe in Reaktor 3 über den Zeitraum eines Jahres. Verstärktes Vorkommen des Bakteriums während der Schaumbildung.

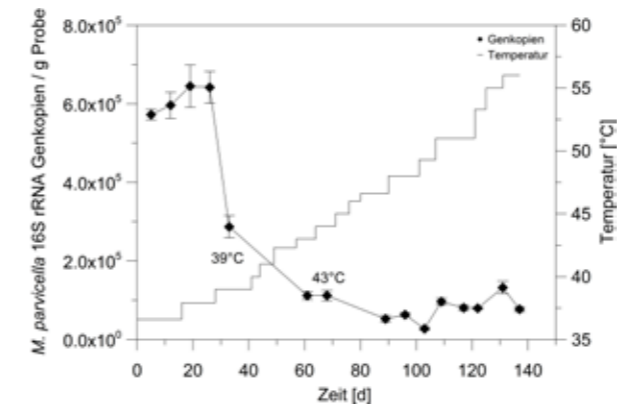


Abbildung 2: Abundanz des mit *M. parvicella* verwandten Bakteriums im Gärrest des Laborreaktors während der Temperaturerhöhung. Starke Verringerung des Vorkommens bei 39 °C und weitere Reduzierung bei 43 °C.

Um ein Verfahren zur Vermeidung der Schaumbildung zu entwickeln, wurden zwei Laborreaktoren mit dem Gärmaterial aus dem zur Schaumbildung neigenden Reaktor angereichert und mit Mischschlamm sowie mit Sonnenblumenöl als Co-Substrat betrieben. Während zunächst auch in der Laboranlage Schaum auftrat, entstand nach acht Monaten Betriebszeit eine etwa 3 cm dicke Schwimmschicht. Zur Verringerung der Schichtdicke wurde die Temperatur schrittweise um 1 °C pro Woche von 37 °C auf 56 °C erhöht, die Abundanz des *M. parvicella*-ähnlichen Organismus im Verlauf des Versuchs untersucht und die Schichtdicke bestimmt (LIENEN et al., 2014b). Eine stabile Gasproduktion und eine geringe Konzentration an organischen Säuren zeigten einen stabilen Prozess während der Temperaturerhöhung an. Nachdem die Temperatur um 2 Grad auf 39 °C erhöht worden war, hatte sich die Abundanz des mit *M. parvicella* verwandten Bakteriums um 50 % verringert und reduzierte sich um weitere 50 %, nachdem die Temperatur auf 43 °C (Abb. 2) erhöht worden war. Nachdem die Temperatur auf 56 °C gesteigert worden war, wurden die Laborreaktoren geöffnet und die Schwimmschichtdicke erfasst. In beiden Reaktoren hatte sich die Schwimmschicht auf wenige Millimeter reduziert bzw. aufgelöst. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine Temperaturerhöhung um wenige Grad Celsius das Schaumrisiko in bei 37 °C betriebenen, mit Klärschlamm beschickten Biogasanlagen erheblich verringern könnte. Eine Schwimmschichtbildung wurde nicht nur im Labor, sondern auch in einer mit Gülle und biogenen Abfällen betriebenen großtechnischen Biogasanlage beobachtet (LIENEN et al., 2013). In dieser Anlage war in einem der beiden Reaktoren der untere von zwei Rührflügeln abgerissen, so dass der Gär Schlamm nur noch im oberen Bereich des Reaktors durchmischt wurde. Hierdurch wurde vermutlich

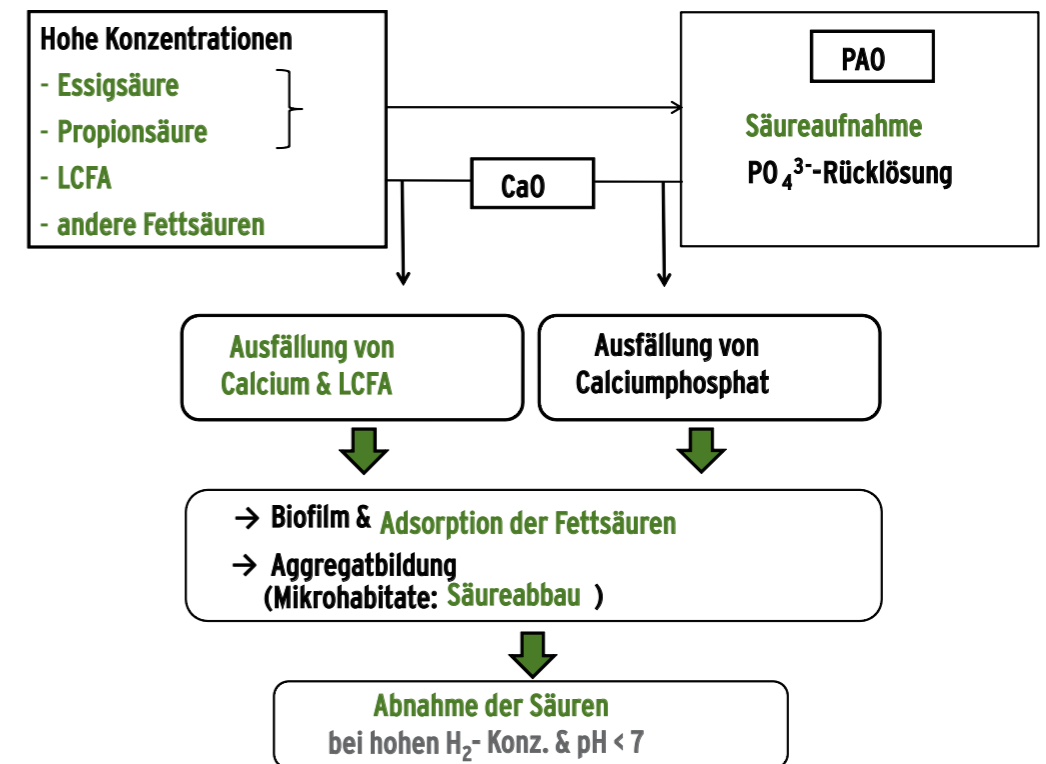


Abbildung 3: Hypothese zum Mechanismus der Prozessstabilisierung durch die Zugabe von CaO; LCFA - langkettige Fettsäuren; PAO - phosphatspeichernde Organismen

die Schwimmschichtbildung verursacht. Obwohl in der Schwimmschicht filamentöse Mikroorganismen nachgewiesen wurden, waren diese sehr wahrscheinlich nicht ursächlich für die Schwimmschichtbildung. Daneben führte die ungünstige Durchmischung zu einem Anstieg der Konzentration an organischen Säuren. Durch eine Halbierung der Raumbelastung wurde der drohenden Übersäuerung entgegengewirkt.

Übersäuerung – Ursache und Gegenmaßnahme?

In einer großtechnischen Anlage, die mit Klärschlamm, Fett und Maische (Lebensmittelabfälle) mit einer Raumbelastung von $3,2 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ betrieben wurde, nahm im Zuge einer Übersäuerung die Gasbildungsrate um 75 % ab, während die Konzentration an organischen Säuren um den Faktor 10 zunahm (KLEYBÖCKER et al., 2012a). Nachdem der Prozess innerhalb von 45 Tagen nicht durch eine Verringerung der Raumbelastung um bis zu 75 % stabilisiert werden konnte, wurde Natronlauge (NaOH) zur Anhebung des pH-Wertes eingesetzt. Infolge der NaOH-Zugabe stieg der pH-Wert zwar auf 7,1, sank aber innerhalb einer Woche wieder ab. Daraufhin wurde Calciumoxid (CaO) als Additiv eingesetzt, wodurch sich der Prozess innerhalb einer Woche nachhaltig stabilisierte (KLEYBÖCKER et al., 2012a). Um die Mechanismen der Prozessstabilisierung besser zu verstehen, wurden die Entsäuerungsvorgänge sowohl mit NaOH als auch mit CaO in zwei zuvor parallel betriebenen Laborreaktoren nachgestellt. Hierbei zeigte sich, dass beide Entsäuerungen im Hinblick auf den Abbau der Säuren und der erwarteten Biogasausbeute erfolgreich waren, solange die Raumbelastung mit ca. $1 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ niedrig war. Als beiden Reaktoren wieder Rapsöl als Co-Substrat zugeführt wurde, blieb nur der Prozess stabil, der zuvor mit CaO stabilisiert worden war (KLEYBÖCKER et al., 2012a), während das mit NaOH entsäuerte Gärmaterial erneut übersäuerte.

Im Verlauf der Prozessstabilisierung wurden abhängig von der CaO-Zugabemenge Aggregate in verschiedenen Größen mit Durchmessern von 0,5 mm – 7 cm beobachtet, die im Anschluss an die Stabilisierung wieder abgebaut wurden. Die Aggregate bestanden hauptsächlich aus Fett-

säuren und Calcium (LIEBRICH et al., in prep.). Phosphatminerale wurden ebenfalls detektiert. Sie waren porös, wobei ihre Porengröße proportional zur Aggregatgröße zunahm (KASINA et al., subm.). Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wurde folgende Hypothese zum Wirkmechanismus des CaOs entwickelt (Abb. 3, KLEYBÖCKER, 2012a):

Die Fällung langkettiger Fettsäuren mit Calcium, die Aufnahme kurzkettiger Säuren durch phosphatspeichernde Mikroorganismen (PAOs) sowie die Adsorption von Fettsäuren an den Ausfällungen trugen zu einer Verminderung der Inhibierung bei. Weiterhin führte der Säureabbau in den Aggregaten aufgrund der günstigeren Abbaubedingungen in Mikrohabitaten zu einer Abnahme der Säuren in der gelösten Phase und trug zur Stabilisierung des Prozesses bei (KLEYBÖCKER, 2012a).

In weiteren Laborversuchen, in denen zwei Prozesse gezielt zur Übersäuerung geführt wurden, konnte gezeigt werden, dass die PAOs im Gärmaterial im Zuge einer Übersäuerung dominant wurden (LERM et al., 2012). LIEBRICH et al. (in prep.) wiesen die PAOs darüber hinaus auch in den Aggregaten nach.

Übersäuerung – Früherkennung und Vermeidung?

Aufbauend auf den Ergebnissen zur Prozessstabilisierung mit CaO wurden verschiedene Frühwarnindikatoren im Hinblick auf eine drohende Übersäuerung entwickelt. In neun verschiedenen Versuchen wurde gezeigt, dass eine Verdopplung des Verhältnisses von Fettsäure- zu Calciumkonzentration (FWI-VFA/Ca) auf eine drohende Übersäuerung hinweist (KLEYBÖCKER et al., 2010, KLEYBÖCKER et al., 2012b). Darüber hinaus eignete sich auch Phosphat als Frühwarnindikator. Sowohl die Phosphatkonzentration (FWI-PO₄) als auch das Konzentrationsverhältnis von Phosphat zu Calcium (FWI-PO₄/Ca) stiegen wesentlich früher an als die klassischen Parameter wie die Konzentration an organischen Säuren oder die Abnahme der Gasbildungsrate (KLEYBÖCKER et al., 2012b). Zwischen drei und sieben Tagen vor dem Eintreten einer Übersäuerung zeigten die Indikatoren das erhöhte Risiko für eine Übersäuerung an. Dieser Zeitraum war ausreichend, um eine drohende Übersäuerung durch Zugabe von CaO abzuwenden.

In weiteren Laborversuchen zur schnellen Steigerung der Raum-Zeit-Ausbeute wurde die Raumbelastung erhöht und gleichzeitig die Dosierung der Additive über die Frühwarnindikatoren gesteuert. Mit Hilfe von CaO wurden Raumbelastungen um $10 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ unter stabilen Prozessbedingungen und mit hohen Methanausbeuten erreicht (KLEYBÖCKER et al., 2014, KASINA et al. subm., Abb. 4). Die erfolgreich eingesetzten Raumbelastungen lagen weit über den für die Reaktorart und Substratmatrix üblichen Werten wie sie von DAVIDSSON et al. (2008), ELANGO et al. (2007), LUOSTARINEN et al. (2009), DWA (2009), JANKE (2008), RÖSKE & UHLMANN (2005) und BISCHOFBERGER et al. (2005) in eigenen Untersuchungen eingesetzt oder als Maximalwerte angegeben wurden. Dagegen konnte mit NaOH als Additiv nur bis zu einer Raumbelastung von $5,9 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ d}^{-1}$ eine ausreichende Methanausbeute erzielt werden (KLEYBÖCKER, 2012).

Referenzen

- Baloussou, D.; Kleyböcker, A.; McKenna, R.; Möst, D.; Fichtner, W. (2012): An economic analysis of three operational co-digestion biogas plants in Germany. In: *Waste and Biomass Valorization*. 3 (1), S. 23-41.
- Bischofsberger, W.; Dichtl, N.; Rosenwinkel, K.; Seyfried, C.; Böhnke, B. (2005): *Anaerobtechnik*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Davidsson, A.; Loevstedt, C. (2008): Co-digestion of grease trap sludge and sewage sludge. In: *Waste Management*. 28, S. 986-992.
- DWA-M 380 (2009): Co-Vergärung in kommunaler Klärschlammfaulbehältern, Abfallvergärungsanlagen und landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Hennef.
- Elango, D.; Pulikesi, M. (2007): Production of biogas from municipal solid waste with domestic waste sewage. In: *Journal of Hazardous Materials*. 141, S. 301-304.
- Janke, H. (2008): *Umweltbiotechnik: Grundlagen und Verfahren*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- Kasina, M.; Kleyböcker, A.; Michalik, M.; Würdemann, H. (submitted): Extremely fast increase in the organic loading rate during co-digestion of rapeseed oil and sewage sludge in a CSTR - characterization of granules formed due to large CaO additions to maintain process stability. In: *Water, Science and Technology*.
- Kleyböcker, A.; Liebrich, M.; Kasina, M.; Kraume, M.; Wittmaier, M.; Würdemann, H. (2012a): Comparison of different procedures to stabilize biogas formation after process failure in a thermophilic waste digestion system: Influence of aggregate formation on process stability. In: *Waste Management*. 32 (6), S. 1122-1130.

- Kleyböcker, A. (2012): Entwicklung neuer Verfahren der Prozesssteuerung in Co-Vergärungsanlagen der Abfallwirtschaft. URL: <http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn:nbn:de:kobv:83-opus-35915>. (Stand: 01.02.2015)
- Kleyböcker, A.; Würdemann, H. (2012): Verfahren zur Prozesssteuerung von Bioreaktoren (Process control of biogas plant comprises measuring quantities of organic acids and calcium ions during operation of biogas plant in predetermined intervals, determining ratio of these quantities and comparing it with previous intervals). 102008044204 B4 (erteiltes Patent, 2013), 102008044204 A1 (erste Veröffentlichung, 2010).
- Kleyböcker, A.; Liebrich, M.; Verstraete, W.; Kraume, M.; Würdemann, H. (2012b): Early warning indicators for process failure due to organic overloading by rapeseed oil in one-stage continuously stirred tank reactor, sewage sludge and waste digesters. In: *Bioresource Technology*. 123, S. 534-541.
- Kleyböcker, A.; Lienen, T.; Liebrich, M.; Kasina, M.; Kraume, M.; Würdemann, H. (2014): Application of an early warning indicator and CaO to maximize the time-space-yield of a completely mixed waste digester using rape seed oil as co-substrate. In: *Waste Management*. 34, S. 661-668.
- Lengemann, A. (2009): persönliche Mitteilung
- Lerm, S.; Kleyböcker, A.; Miethling-Graff, R.; Alawi, M.; Kasina, M.; Liebrich, M.; Würdemann, H. (2012): Archaeal community composition affects the function of anaerobic co-digesters in response to organic overload. In: *Waste Management*. 32 (3) S. 389-399.
- Liebrich, M.; Kleyböcker, A.; Kasina, M.; Kassahun, A.; Würdemann, H. (in prep.): Granule formation after CaO addition enables process recovery in co-digestion of sewage sludge and rape seed oil - effects on the microbial community composition.
- Lienen, T.; Kleyböcker, A.; Verstraete, W.; Würdemann, H. (2014a): Foam formation in a downstream digester of a cascade running full-scale biogas plant: Influence of fat, oil and grease addition and abundance of the filamentous bacterium *Microthrix parvicella*. In: *Bioresource Technology*. 153, S. 1-7.
- Lienen, T.; Kleyböcker, A.; Verstraete, W.; Würdemann, H. (2014b): Moderate temperature increase leads to disintegration of floating sludge and lower abundance of the filamentous bacterium *Microthrix parvicella* in anaerobic digesters. In: *Water Research*. 65, S. 203-212.
- Lienen, T.; Kleyböcker, A.; Brehmer, M.; Kraume, M.; Moeller, L.; Görsch, K.; Würdemann, H. (2013): Floating layer formation, foaming, and microbial community structure change in full-scale biogas plant due to disruption of mixing and substrate overloading. In: *Energy, Sustainability and Society* 20 (3), S: 1-14.
- Luostarinen, S.; Luste, S.; Sillanpää, M. (2009): Increased biogas production at wastewater treatment plants through co-digestion of sewage sludge with grease trap sludge from a meat processing plant. In: *Bioresource Technology*. 100, S. 79-85.
- Röske, I.; Uhlmann, D. (2005): *Biologie der Wasser und Abwasserbehandlung*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

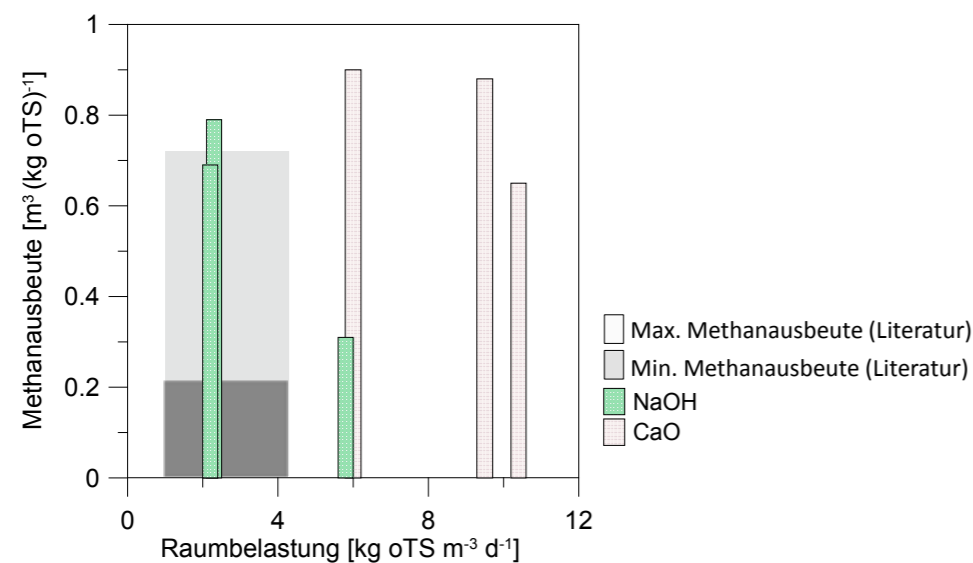


Abbildung 4: Maximal erreichte Methanausbeuten in Abhängigkeit der eingesetzten Raumbelastung unter der Zugabe von NaOH oder CaO im Vergleich zu Methanausbeuten aus der Literatur bei üblichen Raumbelastungen ohne Additivzugabe



Foto: DBFZ

Unzerkleinerte Getreidekörner in Biogasanlagen

Methode zur Kontrolle der Ausnutzung von Getreide durch Untersuchung des Gärrestes

Friedrich Weißbach, Lars Wolf, Vera Strubelt und Cornelia Strubelt

Foto: A. Gröber, DBFZ

Ob und unter welchen Bedingungen unzerkleinerte Getreidekörner in Biogasanlagen hinreichend ausgenutzt werden, ist noch weitgehend unklar. Diese Frage ergibt sich, wenn zur Vermeidung von übermäßiger Schaumentwicklung im Fermenter ein Verzicht auf das Mahlen von Getreidekorn erwogen wird. Die Frage nach der Ausnutzung von Körnern hat aber auch Bedeutung für den Einsatz von Silagen aus Getreide- und Maisganzpflanzen hoher Reifegrade und ungenügender mechanischer Kornaufbereitung bei der Ernte. Für diese Zwecke wird eine Methode zur Kontrolle des Ausnutzungsgrades von Körnern durch Untersuchung des Stärkegehaltes im Gärrest vorgeschlagen. Die Eignung der Methode ist am Beispiel des Einsatzes von unzerkleinertem Roggenkorn in der Praxis untersucht worden. Unter den anlagentechnischen Bedingungen, unter denen diese Untersuchung erfolgte, ergab sich eine vollständige Ausnutzung der ganzen Roggenkörner.

Als Stand der Technik gilt, dass pflanzliche Biomasse vor dem Einsatz als Substrat in Biogasanlagen – soweit wie mit vertretbarem technischem Aufwand möglich – zerkleinert werden sollte. Das wird nicht nur aus technologischen Gründen (als Voraussetzung für die Beschickungstechnik, für geringen Rühraufwand und für die Vermeidung von Sinkschichten oder Schwimmdecken), sondern auch im Interesse einer möglichst schnellen biologischen Umsetzung und vollständigen Ausnutzung der Substrate für notwendig angesehen. Das Zerkleinern vergrößert die reaktive Oberfläche der Partikel und erleichtert so die Nutzung der Inhaltsstoffe durch die Bakterien.

Die Anforderungen an diesen mechanischen Aufschluss hängen von der Art der Pflanzen bzw. Pflanzenteile ab. Vegetative Pflanzenteile sind kurz zu häckseln, Samenkörner zu schrotten oder zu quetschen oder, als Bestandteil von Ganzpflanzensilagen, bei der Ernte zu cracken. Grundsätzlich gilt dabei: Je feiner die Zerkleinerung, umso besser. In zahlreichen Projekten wird gegenwärtig versucht, den

Ausnutzungsgrad und die Umsetzungsgeschwindigkeit von Substraten durch zusätzliche mechanische Aufbereitung zu steigern.

Vor diesem Hintergrund war die während der letzten Jahre in der Praxis gewonnene Erfahrung überraschend, dass nach Austausch von Roggenschrot durch unzerkleinertes Roggenkorn – zumindest unter bestimmten anlagenspezifischen Bedingungen – kein Rückgang der Gasausbeute beobachtet werden konnte. Inzwischen wird von verschiedenen Anlagebetreibern Roggenkorn unzerkleinert eingesetzt. Motiv für den Verzicht auf das Mahlen ist neben der Kostenersparnis vor allem das Vermeiden von Schaumgärung im Fermenter.

Unkontrollierte Schaumbildung gehört zu den wichtigsten Prozessstörungen bei der Biogasgewinnung in der Praxis und kann zu großen wirtschaftlichen Schäden führen (MOELLER et al., 2010; MOELLER et al., 2012). Sie war und ist deshalb Gegenstand aktueller Forschungsprojekte. Im

Rahmen derselben ist eindeutig nachgewiesen worden, dass beim Einsatz von Getreidekorn das Schaumgärungsrisiko mit dem Zerkleinerungsgrad stark zunimmt und dass Weizen, Roggen und Triticale die stärkste Schaumbildung verursachen (MOELLER et al., 2013). Um der Schaumgärung vorzubeugen, wird deshalb von den Autoren dieser Studie empfohlen, Getreidekorn nur grob zu mahlen. Soweit eine vollständige Ausnutzung trotzdem gesichert sein sollte, wird auch der Einsatz von Getreide im unzerkleinerten Zustand in Betracht gezogen.

Im scheinbaren Widerspruch zum Ausbleiben eines Gasertragsrückgangs bei Verzicht auf Zerkleinerung steht aber die Beobachtung, dass sich nach Einsatz unzerkleinerten Roggens im Gärrest einzelne ganze Körner finden lassen (Abbildung 1). Diese Körner sind stark gequollen. Durch Zerquetschen lässt sich aus ihnen ungenutzte Stärke als plastische weiße Masse freisetzen. Es handelt sich also nicht immer nur, wie zunächst vermutet wurde, um leere Samenschalen.

Ziel der vorliegenden Studie war es, den Ausnutzungsgrad unzerkleinert in den Fermenter eingebrachten Roggenkörnern zu untersuchen und eine Methode zu erproben, mit der anhand der Analyse des Gärrestes die Ausnutzung von Getreidekörnern und Kornfragmenten generell kontrolliert werden kann.



Abbildung 1: Aus dem Gärrest eines Fermenters nach dem Einsatz von unzerkleinertem Roggen ausgewaschene offensichtlich ungenutzte Roggenkörner, Foto: Lars Wolf

Material und Methoden

Im Sommer 2011 wurden drei parallel betriebene Fermenter, die bereits längere Zeit mit Maissilage und unzerkleinertem Roggenkorn (etwa 1/6 der Substrat-TS) beschickt worden waren, 130 Tage lang einer eingehenden Prüfung auf Substratausnutzung durch Datenerfassung und Laboranalyse von Substraten und Gärresten unterzogen.

Die untersuchten Fermenter waren einstufige Durchlaufreaktoren von 2.580 m³ nutzbarem Volumen, betrieben im mesophilen Temperaturbereich. Gefüttert wurde halbstündlich über einen Anmischbehälter, in dem die Substrate chargenweise mit Faulschlamm suspension aus dem Fermenter (Rezirkulat) vermischt wurden und die homogenisierte Mischung dann in den Fermenter gepumpt wurde. Die Fer-

menter verfügten über vier Tauchmotorrührwerke, die im Halbstundentakt je 6 Minuten in Betrieb waren. Die Faulraumbelastung betrug durchschnittlich 3,8 kg oTS pro m³ und Tag. Als hydraulische Verweilzeiten wurden je nach Fermenter 86 bis 90 Tage errechnet.

Das Untersuchungsprogramm umfasste drei Perioden. Zunächst wurden alle drei Fermenter (Fermenter A, B, C) während einer etwa 40-tägigen Periode (Periode I) mit Maissilage plus Roggen wie vorher weiter betrieben. Bei Fermenter A wurde diese Substratmischung auch in der Folgezeit (Periode II und III) beibehalten. Bei den Fermentern B und C schlossen sich dagegen an die erste Periode zwei weitere Untersuchungsperioden von je etwa 45 Tagen an, in denen der Einsatz von Roggenkorn unterblieb und das Korn durch eine größere Gabe von Maissilage ausgeglichen wurde. Die Summe dieser zwei Perioden ohne Roggeneinsatz entspricht einer vollen hydraulischen Verweilzeit der Substrate von rund 90 Tagen. So ergab sich das folgende Versuchsdesign:

	Fermenter A	Fermenter B	Fermenter C
Periode I	Maissilage plus Roggen	Maissilage plus Roggen	Maissilage plus Roggen
Periode II	Maissilage plus Roggen	nur Maissilage	nur Maissilage
Periode III	Maissilage plus Roggen	nur Maissilage	nur Maissilage

Während der gesamten Untersuchungszeit sind täglich erfasst worden:

- eingesetzte Substratmengen,
- Gasproduktion und Methangehalt,
- Gasverbrauch durch Fackelbetrieb,
- Physikalische Daten zur Korrektur des Gasvolumens auf Normbedingungen,
- Stromproduktion.

Von der Maissilage ist wöchentlich eine Mischprobe aus den Annahmehackern für alle drei Fermenter gemeinsam, vom Roggen eine Einzelprobe je Partie gezogen worden. Die Gärreste von den einzelnen Fermentern wurden an jeweils einem Tag pro Woche beprobt. Die Probenahme erfolgte hinter dem Gärrestüberlauf. Aus mindestens drei Teilproben, die (verteilt über neun Stunden) vom jeweiligen Fermenter an diesem Tag gezogen worden waren, wurde eine Mischprobe gebildet. Gegen Ende der geplanten Untersuchungszeit wurden zu Vergleichszwecken drei weitere Fermenter beprobt, in denen statt unzerkleinertem Roggen geschrotete Gerste eingesetzt worden ist.

In den Substraten wurden Trockensubstanz (TS), Rohasche (XA), Rohfaser (XF) und Stärke untersucht, in den Gärresten TS, XA und Stärke. Insgesamt wurden 23 Proben von Maissilagen, drei von Roggenkorn, eine vom Gerstenschrot und 57 von den Gärresten analysiert.

Um die flüchtigen Stoffe in den Silagen mitzuerfassen, ist eine Korrektur des auf übliche Weise bestimmten TS-Gehaltes (TS₁) und die anschließende Neuberechnung der Inhaltstoffe auf die Bezugsgröße „korrigierte TS“ (TS_k) notwendig (WEISSBACH & STRUBELT, 2008a). Die TS-Korrektur wurde hier mit der vereinfachten Formel für Maissilagen vorgenommen (WEISSBACH & STRUBELT, 2008b):

$$TS_k \text{ [g/kg]} = 24,5 + 0,980 TS_n \quad (\text{Gl. 1})$$

Die Gehalte an fermentierbarer organischer Trockensubstanz (FoTS) sind mit folgenden Gleichungen geschätzt worden (WEISSBACH, 2008), wobei XA und XF die Gehalte in g/kg TS_k bedeuten:

$$\text{FoTS [g/kg TS}_k\text{]} = 984 - (XA) - 0,47 (XF) - 0,00104 (XF)^2 \quad (\text{Gl. 2})$$

$$\text{FoTS [g/kg TS]} = 990 - (XA) - 1,89 (XF) \quad (\text{Gl. 3})$$

Aus den FoTS-Gehalten wurde auf das spezifische Gasbildungspotential (420 Normliter Methan/kg FoTS bzw. 800 Normliter Biogas/kg FoTS) geschlossen (WEISSBACH, 2008; WEISSBACH, 2009a). Der scheinbare Nutzungsquotient (NQ) und der wahre Nutzungsquotienten (NQ') sind mithilfe der folgenden Gleichungen berechnet worden (WEISSBACH, 2009b):

$$NQ = \frac{1000}{\text{FoTS}} \left(1 - \frac{XA_s}{XA_r} \right) \text{ bzw.} \quad (\text{Gl. 4})$$

$$NQ' = \frac{1000}{\text{FoTS}(1-BQ)} \left(1 - \frac{XA_s}{XA_r} \right) \quad (\text{Gl. 5})$$

XA_s und XA_r sind die Rohaschegehalte der Substratmischung bzw. des Gärrestes. Sie sind jeweils, ebenso wie der FoTS-Gehalt, in g/kg TS bzw. TS_k in die Gleichungen einzusetzen. BQ ist der Biomassebildungsquotient, der angibt, welcher Anteil der umgesetzten FoTS in mikrobielle Biomasse inkorporiert wird.

Als Stärke wurden die mit Amylase freisetzbaren Hexosen definiert und diese unter Nutzung eines kolorimetrischen Verfahrens bestimmt. Das Verfahren verwendet die Farbreaktion von gelösten Hexosen mit Anthron/Schwefelsäure-Reagenz (DERIAZ, 1961). Von den Gärresten wurde jeweils etwa ein kg Frischmasse in flachen Schalen bei 60 - 65 °C getrocknet, der Trocknungsrückstand gemahlen und dieser

zur Analyse benutzt. Die mit kaltem Wasser und die – in einem parallelen Ansatz – mit α-Amylase bei etwa 70 °C in Lösung gebrachten und aus Hexosen bestehenden Gesamtkohlenhydrate wurden bestimmt. Aus der Differenz zwischen den beiden zunächst als monomere Glucose gemessenen Konzentrationen errechnet sich durch Multiplikation mit dem stöchiometrischen Faktor von 0,9 der Gehalt an Stärke. Erfahrungen mit diesem methodischen Vorgehen lagen aus früheren Untersuchungen vor, in denen der durch unverdaute Getreide- oder Maiskörner im Kot von Rindern verursachte Verlust untersucht worden ist (BERGNER & WEISSBACH, 1983; WEISSBACH et al., 1991).

Substratinput und Gasausbeute

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der erhobenen Daten für den Substrateinsatz getrennt nach Fermenterbetrieb mit und ohne Roggeneinsatz dargestellt.

Soweit die Substratration Maissilage plus Roggen umfasste, war der FoTS-Input aller drei Fermenter praktisch gleich. Der Anteil des Roggenkorns am Gasbildungspotenzials der Substratmischung lag zwischen 18,3 und 18,8 %. Nach Austausch des Roggens durch eine zusätzliche Gabe von Maissilage gelang es bei Fermenter B und C nicht ganz, den Verzicht auf den Roggen auszugleichen.

Tabelle 2 zeigt die für die einzelnen Fermenter und die gesamte Untersuchungszeit vorausberechnete und die gemessene Gas- und Energieproduktion. Diese Auswertung diente der Überprüfung, inwieweit die erhobenen Daten für einen ungestörten Gärungsverlauf sprechen und die gemessene Gasproduktion mit der aus dem Substrateinsatz vorausgerechneten übereinstimmt. Das ließ sich innerhalb der erwartungsgemäßen Fehlerstreuung solcher Datenerhebungen unter Praxisbedingungen bestätigen. Im Mittel der drei Fermenter und der gesamten Untersuchungszeit entsprach die gemessene Methanproduktion zu rund 100 % derjenigen, die sich aus dem FoTS-Input bei vollständiger Substratausnutzung und dem unterstellten spe-

zifischen Methanbildungspotenzial (420 Normliter Methan je kg FoTS) erwarten lässt. Das erzeugte Methan wurde zu 95 % für die Stromproduktion genutzt. Bei Annahme eines Wirkungsgrades der Blockheizkraftwerke von 38 % wird das berechnete Volumen an verstromtem Methan von der tatsächlich erzeugten Menge an Elektroenergie bestätigt.

Die Ergebnisse entsprechen somit ganz den Erwartungen, sie erscheinen in sich plausibel und damit für die weitere Auswertung als geeignet. Eine getrennte Berechnung der Energieausbeute für die einzelnen Versuchsperioden wäre indessen nicht sinnvoll, weil die Gaserzeugung bei Einspeisung von unzerkleinertem Korn zeitlich nicht unmittelbar dem Substrateinsatz folgen wird, sondern nur mit einem nicht vorhersagbaren Zeitverzug. Eine grafische Gegenüberstellung des Zeitverlaufs von Roggeneinsatz und Methan-erzeugung (hier nicht dargestellt) ließ keinerlei Zusammenhang erkennen und bestätigte damit die Erfahrungen aus der Praxis, dass die Gasausbeute durch unzerkleinerten Roggen offenbar nicht beeinträchtigt wird. Das soll im Folgenden an Einzelparametern überprüft werden, die sich wesentlich genauer bestimmen lassen als die komplexen Größen Gas- oder gar Energieausbeute, bei deren Berechnung eine Vielzahl von Unsicherheiten und Fehlerquellen wirksam gewesen sein kann.

Ganzes Roggenkorn und Substratausnutzung

Um die Substratausnutzung zu beurteilen, wurden die Nutzungsquotienten (nach Gleichung 4 bzw. 5) berechnet. Diese Maßzahlen ergeben sich aus der Zunahme des Rohaschegehaltes von der Substratmischung (XA_s) zu dem des Gärrestes (XA_r). Beim scheinbaren Nutzungsquotienten (NQ) bleibt unberücksichtigt, dass ein Teil der von der Mikroflora genutzten FoTS in Bakterienbiomasse inkorporiert und damit Bestandteil des Gärrestes wird. Beim wahren Nutzungsquotienten (NQ') ist diese Inkorporation berücksichtigt.



Foto: Carlosh www.pixelio.de

Bei den Gehalten an FoTS und XA in der Substratmischung ist von den Mittelwerten für die Untersuchungsperioden ausgegangen worden. Was XA_s betrifft, war es nur so möglich, die Rohasche aus allen Inputstoffen, einschließlich der aus den mineralischen Zusätzen (Schwefelbindemittel und Spurenelementmischung), die sporadisch nach Bedarf eingesetzt wurden, mitzuerfassen. Für die Perioden mit Roggeneinsatz ergab sich auf diese Weise ein mittlerer XA_s von 41,3 g/kg, für die ohne Roggen von 45,2 g/kg TS. Die entsprechenden mittleren FoTS-Gehalte betragen 834 bzw. 816 g/kg TS (s. Tabelle 1).

In Tabelle 3 sind die Ergebnisse der Bestimmung der XA_r-Gehalte und der damit kalkulierten Nutzungsquotienten dargestellt. Die jeweils gemessenen bzw. berechneten Einzelwerte sind getrennt nach Fermenter und Perioden zu Mittelwerten zusammengefasst und einschließlich der Standardabweichungen (SD) angegeben.

Ein Nutzungsquotient von 1,00 entspricht dem Ausnutzungsgrad von 100 % der FoTS. Dieser Wert wird hier meist schon ohne Berücksichtigung einer mikrobiellen Inkorporation von oTS erreicht. Die Ursache der leichten Verzerrung der Ergebnisse, die teils zu Nutzungsquotienten über 1,00 geführt hat, ist nicht auszumachen. Solche Verzerrungen

Tabelle 1: Substrateinsatz während der Untersuchungszeit

		Fermenter A	Fermenter B	Fermenter C
Fermenterbetrieb mit Roggeneinsatz				
Maissilage	FM kg/Tag	22.731	23.218	23.346
	FoTS kg/Tag	6.436	6.574	6.610
Roggen	FM kg/Tag	1.763	1.815	1.875
	FoTS kg/Tag	1.438	1.481	1.530
Insgesamt	FoTS kg/Tag	7.875	8.055	8.140
	FoTS g/kg TS	834	834	834
	FoTS aus Roggen in %	18,3	18,4	18,8
Fermenterbetrieb ohne Roggeneinsatz				
Maissilage	FM kg/Tag		26.535	26.875
	FoTS kg/Tag		7.513	7.610
	FoTS g/kg TS		816	816
	FoTS aus Roggen in %		0	0
Gesamte Untersuchungszeit				
Maissilage	FM kg/Tag	22.731	25.520	25.718
	FoTS kg/Tag	6.436	7.226	7.282
Roggen	FM kg/Tag	1.763	555	615
	FoTS kg/Tag	1.438	435	502
Insgesamt	FoTS kg/Tag	7.875	7.661	7.784
	FoTS g/kg TS	834	820	822
	FoTS aus Roggen in %	18,3	5,7	6,4

Tabelle 2: Methan- und Stromerzeugung während der Untersuchungszeit

		Fermenter A	Fermenter B	Fermenter C	Mittel
Gaserzeugung aus FoTS-Input berechnet					
Biogas*	Norm m³/Tag	6.300	6.129	6.227	6.218
Methan*	Norm m³/Tag	3.307	3.218	3.269	3.265
Gaserzeugung gemessen					
Biogas	Norm m³/Tag	6.576	6.295	6.165	6.345
	% von berechnet	104	103	99	102
Methan	Norm m³/Tag	3.496	3.145	3.114	3.252
	% von berechnet	106	98	95	100
Fackelverbrauch					
Methan	Norm m³/Tag	216	180	106	168
	% von gemessen	6	6	3	5
Genutztes Gas					
Methan	Norm m³/Tag	3.280	2.964	3.008	3.084
	% von gemessen	94	94	97	95
Stromerzeugung					
Berechnet**	kWh	12.464	11.265	11.430	11.720
	Gemessen	12.250	11.965	11.849	12.021
	% von berechnet	98	106	104	103

* 800 L Biogas bzw. 420 L Methan je kg FoTS

** kWh_{net} = 3,8 kWh/m³ genutztes Methan

Tabelle 3: Ausnutzung des Gasbildungspotenzials der Substratmischungen mit unzerkleinertem und ohne unzerkleinertes Roggenkorn

Periode	Fermenter A		Fermenter B		Fermenter C		
	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD	
Rohaschegehalt des Gärrestes							
I (n = 7)	g/kg TS	253	13	251	14	240	13
II (n = 6)	g/kg TS	251	5	240	6	239	6
III (n = 6)	g/kg TS	244	10	242	10	230	9
Substratausnutzung*							
I (n = 7)	NQ	1,003	0,011	1,002	0,010	0,992	0,011
	NQ'	1,023	0,011	1,022	0,010	1,013	0,011
II (n = 6)	NQ	1,003	0,004	0,995	0,006	0,994	0,006
	NQ'	1,023	0,004	1,015	0,006	1,014	0,006
III (n = 6)	NQ	0,995	0,008	0,996	0,009	0,984	0,010
	NQ'	1,016	0,009	1,016	0,009	1,004	0,010

*Annahme von BQ = 0,02 bei Berechnung von NQ'

liegen jedoch innerhalb des zu erwartenden Fehlerbereiches derartiger Berechnungen. Entscheidend ist der Vergleich zwischen den Substratmischungen mit unzerkleinertem und ohne unzerkleinertes Roggenkorn. Weder die Rohaschegehalte des Gärrestes noch die Nutzungsquotienten lassen Unterschiede in Abhängigkeit vom Einsatz des Roggens erkennen. Insgesamt ist deshalb auf eine stets vollständige Ausnutzung der FoTS – einschließlich der aus dem unzerkleinerten Roggen – zu schließen.

Ganzes Roggenkorn und Stärke im Gärrest

Zur gleichen Aussage führt auch die Betrachtung der im Gärrest gemessenen Stärkegehalte. Diese sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Werte sind, wie noch zu zeigen sein wird, als äußerst gering zu bewerten. Die Unterschiede zwischen den Fermentern und Perioden sind weder statistisch signifikant noch substantiell von Bedeutung.

Tabelle 4: Stärkegehalt des Gärrestes nach Einsatz von Substratmischungen mit unzerkleinertem und ohne unzerkleinertes Roggenkorn

Periode	Fermenter A		Fermenter B		Fermenter C		
	Mittel	SD	Mittel	SD	Mittel	SD	
I (n = 7)	g/kg TS	9,7	1,9	10,8	3,4	9,3	3,5
II (n = 6)	g/kg TS	11,9	3,1	9,7	5,0	8,7	3,2
III (n = 6)	g/kg TS	14,4	3,4	10,8	2,5	9,5	2,1

Auch bei einer grafischen Gegenüberstellung des zeitlichen Verlaufs der eingesetzten Mengen an unzerkleinertem Roggen und den gemessenen Stärkegehalten im Gärrest (hier nicht dargestellt) ließ sich keinerlei Zusammenhang zwischen beidem erkennen. Die gemessenen Stärkegehalte schwankten vielmehr zufallsbedingt um einen Basiswert. Dieser Basiswert konnte auch durch die Untersuchung der oben erwähnten acht zusätzlichen Gärrestproben aus Fermentern bestätigt werden, die mit geschroteter Gerste statt unzerkleinertem Roggen beschickt worden waren. Daraus ist der Schluss zu ziehen, dass diese geringe Menge an Stärke nicht direkt aus dem Substrat stammt, sondern dass es sich dabei um einen Bestandteil der im Fermenter gebildeten Bakterienbiomasse handeln dürfte.

Eine analoge Erscheinung ist aus der Untersuchung des Kotes von Rindern bekannt (BERGNER & WEISSBACH, 1983). Dort wurden regelmäßig etwa 10 g Stärke je kg Kot-TS gefunden, selbst nach der Verfütterung von Rationen, die überhaupt keine Stärke enthielten (WEISSBACH et al., 1991). Die Ausscheidung dieser geringen Stärkemengen wurde auf die im Dickdarm gebildete Bakterienbiomasse zurückgeführt, die etwas Stärke oder andere Kohlenhydrate enthält, die mit der benutzten Bestimmungsmethode als Stärke erfasst werden.

Bei Zusammenfassung aller Untersuchungsergebnisse zu den Gärresten ergab sich

ein Mittelwert von 10,5 g Stärke/kg TS mit einer Standardabweichung von 3,3 g Stärke/kg TS.

Hiernach ist mit einem Basiswert von 10 g Stärke/kg TS zu rechnen, und nur deutlich darüber liegende Beträge sind als ungenutzte Stärke zu betrachten (ΔSt). Um beurteilen zu können, welchen Verlust an Methanbildungspotenzial (MBP) eine bestimmte Überschreitung des Basiswertes bedeutet, wurden Kalkulationen angestellt, die am Beispiel der aufgetretenen Maximalwerte in Tabelle 5 demonstriert werden.

Grundlage dieser Kalkulationen ist die Tatsache, dass sich aus der Kenntnis des FoTS-Gehaltes der Substratration auf die zurückbleibende Menge an TS im Gärrest (GR) schließen lässt. Werden beide Größen (GR und FoTS) in g/kg TS des Substratgemisches ausgedrückt, so gilt bei vollständiger Substratausnutzung, die hier nachgewiesen wurde:

$$GR = 1000 - FoTS \quad (Gl. 6)$$

Damit ist es möglich, die im Gärrest gefundene Stärke auf die TS der Substratmischung umzurechnen und dadurch einer Bewertung zugänglich zu machen. In Tabelle 5 sind die dafür nötigen Kalkulationsschritte angegeben. Als FoTS-Gehalt der Substratmischung mit Roggen wurden im Rahmen dieser Untersuchung 834 g/kg TS, als FoTS-Gehalt des Kornes 922 g/kg TS und als Stärkegehalt des Kornes 630g /kg TS ermittelt. Der Kornanteil an der TS der Substratmischung betrug 16,5 %. Als Methanbildungspotential (MBP) wurden 420 Normliter je kg FoTS unterstellt (WEISSBACH, 2009a).

Tabelle 5: Bewertung der höchsten gefundenen Stärkegehalte im Gärrest

Parameter	Dimension	Gleichung	Maxima	
			Einzelwert einer Probe	Mittelwert** einer Periode
Stärkegehalt	g/kg TS _{Gärrest}		19,4	14,4
Ungenutzte Stärke	g/kg TS _{Gärrest}	$\Delta St_R = Stärke - 10$	9,4	4,4
Ungenutzte Stärke	g/kg TS _{Substratmischung}	$\Delta St_S = \Delta St_R \times (1000 - FoTS)/1000$	1,6	0,7
Ungenutzte FoTS	g/kg TS _{Substratmischung}	$\Delta FoTS_S = \Delta St_S \times (FoTS_{Korn}/St_{Korn})$	2,3	1,1
Ungenutzte FoTS	g/kg TS _{Roggenkorn}	$\Delta FoTS_{Korn} = \Delta FoTS_S \times (100/ Kornanteil \%)$	13,8	6,5
Ungenutztes MBP*	L/kg TS _{Roggenkorn}	$\Delta MBP = 0,42 \times (\Delta FoTS_{Korn})$	5,8	2,7
MBP-Verlust*	MBP _{Verlust} in %	$MBP_{Verlust} = \Delta MBP \times (100/ MBP_{Korn})$	1,5	0,7

* MBP = Methanbildungspotenzial ** Fermenter A; Periode III; n = 6

Nach Einsetzen dieser Zahlen in die angegebenen Gleichungen resultiert im Falle eines einzigen, ganz untypischen und statistisch als Ausreißer identifizierbaren Einzelwertes ein MBP-Verlust von 1,5 %, im Falle des höchsten gefundenen Mittelwertes für eine Messperiode und einen Fermenter ein Verlust von lediglich 0,7 % des MBP des Roggens. Das Gasbildungspotenzial des Roggens wurde also praktisch vollständig ausgenutzt. Der Verzicht auf das Zerkleinern von Roggenkorn bei der Biogasgewinnung unter den oben angegebenen Einsatzbedingungen war somit auch hiernach ohne Nachteil möglich.

Für den Fall, dass Fragen der Ausnutzung von Getreidekorn anderer Arten oder der gleichen Getreideart unter anderen anlagentechnischen Bedingungen anhand der Untersuchung des Gärrestes auf Stärkegehalt geprüft werden sollen, ist ein Bewertungsrahmen ausgearbeitet worden. Er ist

in Tabelle 6 dargestellt. Die Zahlen sind nach den in Tabelle 5 angegebenen Gleichungen (und vereinfachend unter Verallgemeinerung der Stärke- und FoTS-Gehaltswerte des Roggenkornes und der Substratration, wie sie hier vorlagen) berechnet worden. Dieser Bewertungsrahmen soll eine erste Orientierung über die zu erwartenden Verluste bieten. Eine genaue Berechnung der Verluste anhand der jeweiligen Bedingungen kann und soll er nicht ersetzen. Wie viel eine Überschreitung des Basiswertes für den Stärkegehalt im Gärrest an Verlust bedeutet, hängt erwartungsgemäß auch vom Getreideanteil an der Substratmischung ab. Je geringer der Kornanteil, umso größer sind die auf das Korn bezogenen Verluste bei gleichem Stärkegehalt im Gärrest. Insgesamt sind jedoch, wie Tabelle 6 zeigt, bedeutende Verluste an Methanbildungspotenzial erst bei relativ hohen Stärkegehalten im Gärrest zu erwarten.

Tabelle 6: Bewertungsrahmen für Stärkegehalte im Gärrest beim Einsatz von Getreidekorn und Getreideganzpflanzensilage

	Stärkegehalt g/kg TS _{Gärrest}			
	10	20	40	60
	$\Delta Stärke \text{ g/kg TS}_{Gärrest}$			
	0	10	30	50
Ungenutzte Stärke in g/kg TS _{Gärrest}	0	1,7	5,0	8,3
Ungenutzte FoTS in g/kg TS _{Gärrest}	0	2,4	7,3	12,1
10 % Kornanteil der Substrat-TS				
Ungenutzte FoTS in g/kg TS _{Korn}	0	24,3	72,9	121,5
Ungenutztes MBP in L/kg TS _{Korn}	0	10,2	30,6	51,0
MBP-Verlust %	0	2,6	7,9	13,2
20 % Kornanteil der Substrat-TS				
Ungenutzte FoTS in g/kg TS _{Korn}	0	12,1	36,4	60,7
Ungenutztes MBP in L/kg TS _{Korn}	0	5,1	15,3	25,5
MBP-Verlust %	0	1,3	4,0	6,6
30 % Kornanteil der Substrat-TS				
Ungenutzte FoTS in g/kg TS _{Korn}	0	8,1	24,3	40,5
Ungenutztes MBP in L/kg TS _{Korn}	0	3,4	10,2	17,0
MBP-Verlust %	0	0,9	2,6	4,4
40 % Kornanteil der Substrat-TS				
Ungenutzte FoTS in g/kg TS _{Korn}	0	6,1	18,2	30,4
Ungenutztes MBP in L/kg TS _{Korn}	0	2,6	7,7	12,8
MBP-Verlust %	0	0,7	2,0	3,3

Es ergibt sich zum Schluss die Frage nach der Bewertung der im Gärrest gefundenen Roggenkörner. Wie viel macht das aus, was man im Gärrest an ungenutzten Körnern sehen kann?

Rechnet man für Roggen mit einer Tausendkornmasse von 35 g, so wiegt ein Korn 35 mg. Bei einem TS-Gehalt von 88 % und einem Stärkegehalt von 630 g/kg TS ergeben sich

$$35 \times 0,88 \times 0,63 \approx 20 \text{ mg Stärke je Roggenkorn.}$$

Der Gärrest enthielt im Mittel etwa 80 g TS je kg FM bzw. je Liter. Folglich erhöht ein ungenutztes Korn je Liter Gärrest den Stärkegehalt um

$$20 \text{ mg} / 0,08 \text{ kg TS} / 1000 \approx 0,25 \text{ g Stärke/kg TS.}$$

Erst 40 Körner je Liter Gärrest lassen somit den Stärkegehalt um 10 g/kg TS ansteigen, und dieser Anstieg des Stärkegehaltes entspricht bei 20 % Getreideanteil an der TS der Substratmischung einem Verlust an MBP von 1,3 % (siehe Tabelle 6). Rund 30 Körner pro Liter Gärrest bedeuten unter den gleichen Bedingungen, dass etwa 1 % des Gasbildungspotenzials ungenutzt geblieben ist. So viele Körner sind aber bei weitem nicht gefunden worden.

Das Auftreten einzelner weniger Getreidekörner im Gärrest ist – zumindest bei Fermenter-Systemen mit nur einem einstufigen Durchflussreaktor – technisch unvermeidbar. Bei so geringer Anzahl wie hier waren sie für die Beurteilung des Ausnutzungsgrades aber ohne Bedeutung.

Dieses Ergebnis ist nicht ohne weiteres auf andere Getreidearten und andere anlagentechnische Bedingungen übertragbar. In allen Zweifelsfällen sollten deshalb Proben vom Gärrest entnommen und nach der beschriebenen Methode auf Stärke untersucht werden. Immer dann, wenn es sich um andere Getreidearten, andere Mischungsanteile und andere anlagentechnische Bedingungen (Verweilzeit, Raumbelastung, Fütterungsfrequenz usw.) als hier handelt, sollten im Zusammenhang mit dem erstmaligen Einsatz von unzerkleinertem Korn solche Gärrestuntersuchung vorgenommen werden. Darüber hinaus ist zu empfehlen, die vorgeschlagene Methode zur Effizienzkontrolle gelegentlich auch dann anzuwenden, wenn es um die Beurteilung einer hinreichenden mechanischen Aufbereitung des Kornanteils von Getreide- und Maisganzpflanzen hoher Reifegrade geht. Nach allen bisherigen Erfahrungen kann bei Gerste und Mais auf eine weitgehende Zerkleinerung der Körner nicht verzichtet werden.

Schlussfolgerungen

Roggenkorn als Bestandteil von Substratmischungen ist bis zu dem Mengenanteil und unter den anlagentechnischen Bedingungen, unter denen das hier geprüft wurde, auch in unzerkleinertem Zustand vollständig ausgenutzt worden. Es ist deshalb prinzipiell möglich, Roggen zur Minderung des Schaumgärungsrisikos unzerkleinert einzusetzen. Da bisher nicht bekannt ist, für welche anderen Getreidearten als Roggen das zutrifft und unter welchen Voraussetzungen hinsichtlich Anlagentechnik und Betriebsweise der jeweiligen Biogasanlage das gilt, sind dazu weitere gezielte Untersuchungen unter Praxisbedingungen erforderlich. Dafür wird die Nutzung der hier beschriebenen Methode der Untersuchung und Bewertung des Stärkegehaltes im Gärrest vorgeschlagen.

Literatur

MOELLER, L.; HERBES, C.; MÜLLER, R.A.; ZEHNSDORF, A. (2010): Schaumbildung und .bekämpfung im Prozess der aeroben Gärung. In: *Landtechnik* 65 (3), S. 204-207.

MOELLER, L.; GÖRSCH, K.; MÜLLER, R.A.; ZEHNSDORF, A. (2012): Bildung von Schaum in Biogasanlagen und seine Bekämpfung - Erfahrungen aus der Praxis. *Landtechnik* 67 (2), S. 110-113.

MOELLER, L.; KRIEG, F.; ZEHNSDORF, A. (2013): Wirkung von Getreideschrot auf die Schaumbildung in Biogasanlagen. In: *Landtechnik* 68 (5), S. 344-348

WEISSBACH, F.; STRUBELT, C. (2008a): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Maissilagen als Substrat für Biogasanlagen. In: *Landtechnik* 63, H. 2, S. 82-83.

WEISSBACH, F.; STRUBELT, C. (2008b): Die Korrektur des Trockensubstanzgehaltes von Silagen als Substrat für Biogasanlagen. 120. VDLUFA-Kongress, 16.-19. 09. 2008, Jena; Kurzfassungen der Referate, S. 29-31.

WEISSBACH, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. In: *Landtechnik* 63, H. 6, S. 356-358.

WEISSBACH, F. (2009a): Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung. Teil I: Das Gasbildungspotenzial der fermentierbaren Nährstoffe. In: *Pflanzenbauwissenschaften* 13 (2), S. 72-85.

WEISSBACH, F. (2009b): Ausnutzungsgrad von Nawaros bei der Biogasgewinnung.

DERIAZ, R. E. (1961): Routine analysis of carbohydrates and lignin in herbage. In: *Journal of Science of Food and Agriculture* 12, S. 152-160.

BERGNER, E.; WEISSBACH, F. (1983): Zum Einfluss des Zerkleinerungsgrades auf die Verdaulichkeit von Getreidekörnern 1. Mitteilung. In: *Archiv für Tierernährung* 33, S. 241-250.

WEISSBACH, F.; SCHMIDT, L.; BERGNER, E.; ZWIERZ, P.-M. (1991): Eine einfache Methode zur Schätzung der durch unverdaute Körner bei der Verfütterung von Silagen aus Mais- und Getreideganzpflanzen entstehenden Futterwertverluste. In: *Das wirtschaftseligene Futter* 37 (1&2), S. 9-23.

Autoren

Prof. Dr. agr. habil. Friedrich Weißbach ist als freischaffender Firmenberater tätig. Gösselweg 12, 18107 Elmenhorst, E-Mail: prof.f.weissbach@web.de

Dipl.-Ing. Lars Wolf ist Leiter der Analytikabteilung der NAWARO BioEnergie Park „Klarsee“ GmbH, Ernst-Röwer-Ring 2, 17329 Krakow, E-Mail: lars_wolf@nawaro.ag

Dipl.-Ing. agr. Vera Strubelt war zur Zeit dieser Untersuchungen Leiterin des Analytiklabors für Landwirtschaft und Umwelt der Blgg Deutschland GmbH, Lübzer Chaussee 12, 19370 Parchim, E-Mail: vstrubelt@blgg.de

Dipl.-Chem. Cornelia Strubelt ist Leiterin des Analytiklabors für Landwirtschaft und Umwelt der Blgg Deutschland GmbH, Lübzer Chaussee 12, 19370 Parchim, E-Mail: cornelia.strubelt@blgg.de

Danksagung

Der Autor dankt der NAWARO® BioEnergie AG für die finanzielle Förderung und die versuchstechnische Unterstützung des Projektes, dessen Ergebnisse hier dargestellt sind.

Optimierter Anlagenbetrieb von Biogasanlagen

Foto: Veolia

Jaqueline Daniel-Gromke, Torsten Reinelt, Jan Postel DBFZ

Das EEG hat seit dem Jahr 2000 erfolgreich den Ausbau und die Nutzung der erneuerbaren Energien unterstützt. Derzeit werden in Deutschland mehr als 8.000 Biogasanlagen betrieben. Etwa 1/3 der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien wird derzeit aus Biomasse bereitgestellt – davon entfallen etwa 75 % auf Biogas. In Deutschland wird Biogas vorrangig zur Stromerzeugung in Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) eingesetzt. Neben der Vor-Ort-Verstromung des Biogases wird zu Biomethan aufbereitetes Biogas in KWK-Anlagen verwendet.

Vor dem Hintergrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen (EEG 2012 und 2014) ist davon auszugehen, dass der Leistungszubau im Biogasbereich überwiegend von Anlagenerweiterungen und Umstellungen auf den flexiblen Anlagenbetrieb bestimmt sein wird. Der Neubau von Biogasanlagen wird sich auf die Errichtung von Güllekleinstanlagen (< 75 kW_e) und Anlagen zur Bioabfallvergärung beschränken (SCHEFTELOWITZ et al., 2014). Zum großen Teil wurden in den letzten vier Jahren Bestandsanlagen hinsichtlich der installierten Anlagenleistung erweitert. Zunehmend von Bedeutung ist daher die Optimierung der Bestandsanlagen. Vor diesem Hintergrund sehen viele Anlagenbetreiber deutlichen Handlungsbedarf zur Optimierung des Gesamtsystems „Biogasanlage“.

Optimierungsbedarf an Anlagen

Die Untersuchungen verschiedener Messprogramme (u. a. FNR, 2005; FNR, 2009; HÄRING, 2011; WINTERBERG et al., 2012) und Anlagenbegehungen zeigen, dass ein mehr oder weniger ausgeprägter Bedarf der Anlagenoptimierung besteht. Dieser wird verursacht durch konzeptionelle Mängel

wie eine fehlende Wärmenutzung, technische Probleme wie häufige Ausfallzeiten der Blockheizkraftwerke, bioprozesstechnische Probleme wie die Bildung von Schaum im Fermenter oder zu niedrige Methanerträge bis hin zu wirtschaftlichen Schwierigkeiten, z. B. durch hohe Substratkosten (WINTERBERG et al., 2012).

Optimierungspotenziale zeigen sich in allen Bereichen der Bereitstellungskette von Biogas. Im Wesentlichen bei folgenden Aspekten:

- Substrateinsatz (Art, Umfang, Fütterungsmanagement)
- Anlagenkonzept, technische Komponenten
- Prozessbiologie
- Biogas- und/oder Wärmenutzung (Art, Umfang)

Es gibt eine Vielzahl biologischer, technischer und organisatorischer Umbaumaßnahmen an Biogasanlagen. Hinsichtlich des Begriffes „Repowering“ existieren jedoch nur wenige handfeste Erläuterungen, die Repoweringmaßnahmen energetisch bewerten und gegenüber sonstigen Wartungs- und Instandhaltungsmaßnahmen hinreichend abgrenzen.

Zur besseren Bewertung von Maßnahmen im Sinne des Repowering bedarf es einer differenzierten Betrachtung von Effizienz und Effektivität (FISCHER et al., 2015). Das Deutsche Biomasseforschungszentrum (DBFZ) untersucht im Rahmen des Forschungsprojektes „Potenziale zur Steigerung der Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen“ (BMEL/FNR, 2014-2015) den Status Quo von Repoweringmaßnahmen bei Biogasanlagen hinsichtlich ihrer energetischen und ökonomischen Effekte. Untersucht wird, welche Relevanz Repoweringmaßnahmen bei Biogasanlagen haben und inwiefern sie zur Steigerung der energetischen Effizienz beitragen. Die Bewertung von Umbaumaßnahmen an Anlagen ist demnach wie folgt definiert (FISCHER et al., 2015):

„Repowering bezeichnet **mittel- bis langfristig** geplante technische Modifikationen zur gezielten Steigerung des Nutzungsgrades.“

Unter Nutzungsgrad ist hierbei der Brennstoffausnutzungsgrad mit Nettoenergiebezug – also unter Berücksichtigung der Eigenbedarfe – gemeint. Die verschiedenen technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Steigerung des Ausnutzungsgrades wurden wie folgt kategorisiert, um sie voneinander abgrenzen und besser beschreiben zu können (FISCHER et al., 2015):

1. Zum Repowering im engeren Sinne zählen demnach mittel- bis langfristig geplante technische Maßnahmen zur gezielten Erhöhung des Wirkungsgrades. Darunter fällt etwa die nicht turnusmäßige Anschaffung eines neuen BHKW mit höherem Wirkungsgrad, der Ersatz vorhandener Rührwerke durch verbrauchsärmere oder der Ausbau der Wärmenutzung. Der Austausch von Teilen, die nicht defekt sind sowie Änderungen im Anlagenkonzept, wie zum Beispiel die Erweiterung durch einen zusätzlichen Fermenter, zählen ebenso dazu. Wichtig ist hierbei, dass die Eingriffe gezielt zur Nutzungsgraderhöhung durchgeführt werden.
2. Das Repowering im weiteren Sinne umfasst die organisatorische Verbesserung. Damit sind Maßnahmen im Betriebsablauf gemeint, die die Auslastung verbessern, wie zum Beispiel die Verringerung der Stillstandszeiten durch gezielte Prozesskontrolle oder das Vorhalten von Ersatzteilen für störanfällige Komponenten. Derartige Maßnahmen sind nicht immer mit den energetischen Kennzahlen messbar. So kann sich

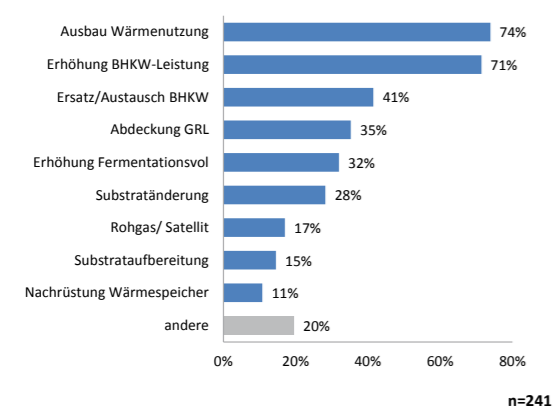
zum Beispiel der Mehrwert von kürzeren Wegstrecken bei der Fütterung im verringerten Zeitaufwand für den Betreiber widerspiegeln. Der Austausch von Komponenten am Ende ihrer Lebensdauer durch effizientere Bauteile kann ebenfalls als Repowering im weiteren Sinne aufgefasst werden.

3. Als dritte Kategorie sind Reparatur- und Instandhaltungsmaßnahmen festgelegt, welche nicht unter das Repowering fallen. Dazu zählt auch der Ersatz von Komponenten, die aufgrund ihres Alters, Verschleißes oder Defektes durch gleichwertige ersetzt werden oder das Eingreifen bei prozessbiologischen Störungen durch Zugabe biologischer Hilfsmittel. Diese Maßnahmen zählen zum Aufrechterhalten des geplanten Betriebes und anvisierter Leistung bzw. Auslastung.

Im Rahmen des Projektes „Repowering“ wurde zudem eine Betreiberbefragung im Zeitraum November/Dezember 2014 durchgeführt, bei der 866 Anlagenbetreiber von Biogasanlagen befragt wurden. 241 Rückmeldungen von Anlagenbetreibern konnten in die Auswertung einbezogen werden (Rücklaufquote 27,8 %). Neben der Einordnung der Anlage (Inbetriebnahme, installierte Leistung, Anlagentechnik) wurden die Anlagenbetreiber zu den an ihrer Anlage durchgeführten Maßnahmen zur Anlagenerweiterung und Effizienzsteigerung, zur Bewertung des Erfolges der Repoweringmaßnahmen, zu den Beweggründen für die Durchführung der Umbaumaßnahmen und zur Einschätzung des Optimierungsbedarfes befragt (vgl. Abbildung 1). Die durchgeführten Maßnahmen an Biogasanlagen konzentrieren sich im Wesentlichen auf den Ausbau der Wärmenutzung und die Leistungserhöhung der BHKW-Leistung durch Zukauf oder Austausch. Vielfach wurden an bestehenden Anlagenstandorten zusätzliche BHKW-Module zur Leistungserhöhung installiert oder alte BHKW durch leistungsstärkere ausgetauscht. Daneben wurden Gärrestlager mit gasdichten Abdeckungen versehen, weitere Fermenter zugebaut oder Änderungen am Substrateinsatz vorgenommen. Optimierungsbedarf sehen die Anlagenbetreiber insbesondere bei der verbesserten Ausnutzung des eingesetzten Substrates, bei der Steigerung des Wirkungsgrades, bei der Reduktion des Energieverbrauches und bei der Vermeidung hoher Substratkosten durch Anpassung des Substratinputs bzw. Einsatz von Substratalternativen.

Im Rahmen des Projektes wurde am DBFZ eine kennzahlenbasierte Methode zur energetischen Bilanzierung von

Durchgeführte Maßnahmen



Weiterer Optimierungsbedarf

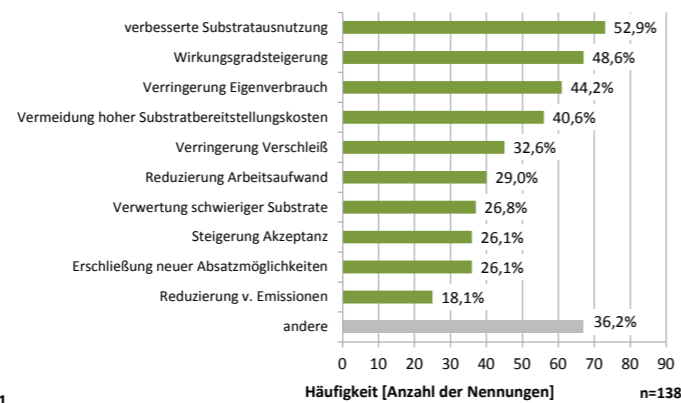


Abbildung 1: Durchgeführte Maßnahmen an Biogasanlagen und veranschlagter Optimierungsbedarf (DBFZ Betreiberbefragung 2014 – Bezugsjahr 2013)



Abbildung 2: Methanemissionen aus einer aktiven Überdrucksicherung an einer Biogasanlage (Foto: Torsten Reinelt, DBFZ) (Quelle: DANIEL-GROMKE et al., 2014)

Biogasanlagen entwickelt, die eine Bewertung der energetischen Effizienz der Biogasanlage sowie deren Repoweringmaßnahmen zulässt (FISCHER et al., 2015).

Emissionen aus Biogasanlagen

Der optimierte Betrieb von Biogasanlagen umfasst auch die Minderung der Anlagenemissionen, die neben der Verbesserung der Treibhausgas-Bilanz auch energetisch und somit wirtschaftlich für den Anlagenbetreiber von Bedeutung sein können. Im Rahmen verschiedener Forschungsvorhaben am DBFZ wurde die Erfassung klimarelevanter Emissionen an Biogasanlagen untersucht (LIEBETRAU et al., 2011; LIEBETRAU et al., 2012a; WESTERKAMP et al., 2014). Die Ergebnisse der Emissionsmessungen erlauben eine ökologische Bewertung der untersuchten Biogasanlagen. Zudem können anhand der identifizierten Emissionsquellen effektive Minderungsmaßnahmen abgeleitet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass nicht unbedingt die Art des Vergärungsverfahrens für erhöhte Emissionen verantwortlich ist, sondern vielmehr die Betriebsweise der Anlage sowie der Umgang mit Gärrückständen (LIEBETRAU et al., 2013; DANIEL-GROMKE et al., 2015). Wesentliche Emissionsquellen liegen in der Rohgasbereitstellung bei offenen Anmischbehältern und nicht gasdicht geschlossenen Gärrestlagern sowie in der Verwertung des Biogases bzw. Biomethans im BHKW. Zudem können sich im Bereich der Foliendachkanten der Fermenter deutlich erhöhte Methankonzentrationen ergeben.

Wesentliche Emissionsquellen können auch betriebsbedingte Emissionen aus Über-/Unterdrucksicherungen (ÜUDS) sein. Allerdings wurden diese bisher nur stichprobenhaft untersucht (REINELT, 2014; vgl. Abbildung 2). Dafür verantwortliche Betriebszustände liegen u. a. im Ausfall oder der Wartung der primären Gasverwertung (BHKW, Biogasaufbereitungsanlage), einem zu hohem Gasspeicherfüllstand im Normalbetrieb oder plötzlichen Wetterumschwüngen in Verbindung mit einem zu hohen Gasspeicherfüllstand (REINELT, 2014). ÜUDS sind prinzipiell als Sicherheitseinrichtung konzipiert, die unzulässige Betriebsdrücke infolge schwerer Betriebsstörungen vermeiden sollen. In der Praxis zeigt sich, dass sie z. T. aufgrund fehlerhafter Betriebsführungen zum Einsatz kommen (REINELT, 2014), z. B.:

- zum Abführen der Gasüberschussproduktion bei ungünstiger Betriebsweise (d. h. dauerhafter Betrieb der Anlage mit überfülltem Gasspeicher (Füllstand 100 %)
- als „Gasverbrauchseinrichtung“ bei Betriebsstörungen, z. B. im Falle verstärkter Schaumbildung infolgedessen die Gasleitungen blockiert sind oder wenn keine stationäre Fackel (bzw. alternative Gasverbrauchseinrichtung) zur Verfügung steht bzw. diese nur manuell gestartet werden kann,
- Fehlfunktionen aufgrund ungenügender Wartung.



Methanemissionen aus ÜUDS hängen insbesondere von der Betriebsweise, der stationären Verfügbarkeit einer sekundären, automatisch startenden Gasverbrauchseinrichtung (i. d. R. Fackel) sowie der Wartungsintervalle ab. So zeigen erste Stichprobenuntersuchungen des DBFZ, dass im Falle eines BHKW-Ausfalls und fehlender stationärer Fackel erhebliche Methanemissionen über die ÜUDS auftreten können. Seit 01.01.2014 gilt daher für alle Bestandsanlagen die verpflichtende Installation einer solchen sekundären Gasverbrauchseinrichtung (EEG, 2012). Aber auch bei stationärer Verfügbarkeit muss die Fackel sinnvoll in das Gas-system integriert und im Idealfall über den Betriebsdruck der Anlage geregelt werden. Weiterhin kann die Erfassung der ÜUDS-Auslösungen mittels explosionsgeschützter Sensoren (z. B. Temperatur-, Nahrungs- und Strömungssensoren) zur besseren Detektion und Bewertung des Emissionsverhaltens von ÜUDS an Biogasanlagen beitragen. Darüber hinaus kann durch Kenntnis der Überdruckereignisse eine gezielte Optimierung der Betriebsweise durch den Anlagenbetreiber vorgenommen werden (REINELT, 2014).

Die Erfassung von Methanemissionen an ÜUDS ist derzeit Gegenstand des Emissionsmessprojektes „Betriebsbedingte Emissionen an Biogasanlagen – BetEmBGA“ (FNR, Laufzeit 2015-2017) am DBFZ.

Einfluss von Prozessstörungen auf die Treibhausgas-Bilanz

Im Rahmen des Projektes OPTGAS (WÜRDEMANN et al., 2013) wurde u. a. die Fragestellung betrachtet, wie sich die Umweltwirkung der Biogasanlagen verändert, wenn Prozessstörungen eintreten. Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden verschiedene Prozessstörungen an Biogasanlagen in der Praxis beobachtet: Übersäuerung, Schaumbildung, Schwimmschichtbildung, mangelhafte Durchmischung. Am Beispiel einer Bioabfallvergärungsanlage (Modell-Biogasanlage: 600 kW_{el}, 50 % Bioabfall aus der Getrennsammlung, 50 % Speiseabfall) wurde auf der Basis der im Projekt untersuchten Praxisanlagen angenommen, dass bei einer Übersäuerung die Raumbelastung der Anlage im Zeitraum von 100 Tagen reduziert wird und dadurch die Biogasproduktion um 75 % zurückgeht. Aufgrund dieser Prozessstörung und der damit einhergehenden Leistungsminderung der Co-Vergärungsanlage ist im Vergleich zum Basis-Szenario (ohne Prozessstörung) eine Verschlechterung der Treibhausgas (THG)-Bilanz um ca. 21 % zu verzeichnen (vgl. Abbildung 3).

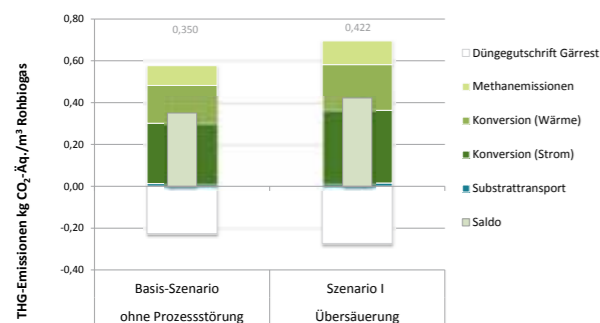


Abbildung 3: THG-Emissionen einer Modell-Bioabfallvergärungsanlage mit und ohne Prozessstörung in kg_{CO₂-Äq.} je m³ Rohbiogas (WÜRDEMANN et al., 2013)

Maßnahmen zur Emissionsminderungen und zum optimierten Anlagenbetrieb

Anhand der identifizierten Emissionsquellen konnten effektive Minderungsmaßnahmen abgeleitet werden, die nach (DANIEL-GROMKE et al. 2012; LIEBETRAU et al. 2012b; LIEBETRAU et al. 2013; REINELT et al., 2013; DANIEL-GROMKE et al., 2015) wie folgt zusammengefasst werden:

Minderungsmaßnahmen bei landwirtschaftlichen Anlagen

Die Reduzierung der Emissionen aus Gärrestlagern sowie die Nachbehandlung der BHKW-Abgase stellen im Fall der landwirtschaftlichen Biogasanlagen die wesentlichen Minderungsmaßnahmen dar. Die sicherste Variante ist die gasdichte Abdeckung der Gärrestlager. Weitere Optionen der Emissionsminderungen können durch Optimierung des Substratabbaus realisiert werden. Durch Verlängerung der Verweilzeiten im gasdichten System, thermophiler Betriebsweise oder/und Einsatz von Substrat-Aufschlussverfahren kann infolge des gesteigerten Substratabbaus das Emissionspotenzial der Gärreste reduziert werden. Zudem bietet die Separation der Gärreste vor offener Lagerung des festen Gärrestmaterials die Möglichkeit, Emissionen zu reduzieren, wenngleich hierzu weiterer Forschungsbedarf besteht. Die offene Lagerung von Prozesswässern bzw. flüssigen Gärrückständen ist durch gasdichte Abdeckungen zu vermeiden. In der Beschickung sollte die offene Lagerung und Verarbeitung von Gülle, Gärresten und Mischungen dieser mit anderen Substraten auf das mindest mögliche Maß reduziert werden.

Minderungsmaßnahmen bei Anlagen zur Vergärung von Bioabfällen

Bei der Vergärung von Bioabfällen ist im Falle einer Nachbehandlung der Gärreste durch den Rotteprozess sicherzustellen, dass im Sinne der guten fachlichen Kompostierung u. a. eine ausreichende Belüftung der Mieten gewährleistet wird. Einem Biofilter sollte generell ein saurer Wäscher vorgeschaltet werden, um Ammoniak abzuscheiden und damit die Lachgasbildung in dem Biofilter weitestgehend zu unterbinden.

Emissionsminderungen durch Wartung und optimierte Betriebsweise

Viele technische Maßnahmen zur Minderung von Methanemissionen müssen bereits während der Planung berücksichtigt werden. Neben den baulich-konstruktiven Maßnahmen (u. a. gasdichte Abdeckung von Gärrestlagern, geschlossene Substrateinbringung) und regelmäßiger Wartung der Anlagenkomponenten, dient maßgeblich ein der Technik angepasstes Betriebsregime der Emissionsminderung. Klimaschädliche Emissionen können bereits durch eine Optimierung der Betriebsweisen (z. B. optimiertes Gasmanagement) reduziert werden. So trägt das regelmäßige Kontrollieren des Füllstandes der Überdrucksicherung nicht nur zur Anlagensicherheit bei, sondern stellt auch sicher, dass Biogas nicht ungenutzt entweicht. Das tägliche Abgehen der Anlage und die Kontrolle der Bauteile auf mögliche Undichtigkeiten ist eine weitere betriebliche Aufgabe. So sind beispielsweise Seildurchführungen der Rührwerke regelmäßig „abzuschmieren“ (abzudichten) und unzureichend abgedichtete Serviceöffnungen und Mannlöcher, die sich z. T. als große Einzelemittenten dargestellt haben,

durch eine Betreiber- oder Herstellerwartung fachgerecht zu reparieren/montieren (POSTEL et al., 2012).

Der sichere und emissionsarme Anlagenbetrieb liegt in erster Linie in der Verantwortung des Betreibers. Als besonders wichtig wird erachtet (CUHLS et al., 2012):

- die intelligente Nutzung des zur Verfügung stehenden Gasspeichervolumens, d. h.
 - Füllstand der Gasspeicher im Normalbetrieb < 50 %
 - Regelung der Substratzufuhr in Abhängigkeit des Gasspeicherfüllstandes,
- die Substratzuführung in mäßigen Dosen und relativ kurzen Intervallen (idealerweise ergänzt durch die Messung der TS-/oTS-Gehalte),
- die messtechnische Überwachung der ÜUDS, um den Betreiber für die dort entstehenden diffusen Emissionen zu sensibilisieren, sowie
- die Vermeidung des Ansprechens von ÜUDS während des Normalbetriebes durch sicheres Ansprechen der sekundären Gasverbrauchseinrichtung, die Biogas – im Notfall – verwerten kann, bevor es aus den ÜUDS entweicht (automatischer Betrieb der Fackel, Regelung durch Drucküberwachung im Gasspeicher).

Zur Begrenzung diffuser Methanemissionen aus der Biogasanlage empfehlen sich regelmäßige Kontrollgänge des Betreibers oder einer beauftragten Person nach Leckagen im gasführenden System, d. h. aller geschlossenen Behälter sowie der gasführenden Leitungen.

Die Eigenüberwachung durch den Betreiber bzw. das Anlagenpersonal ist nach Betriebssicherheitsverordnung durch eine wiederkehrende Prüfung alle drei Jahre durch erfahrene Prüfer bzw. Sicherheitsgutachter zu ergänzen.

Referenzen

Cuhls, C.; Mähl, B.; Otte, M.; Clemens, J.; Daniel-Gromke, J.; Reinelt, T.; Krebs, C.; Liebetrau, J. (2012): Sachverständigenurteilen zur "Emissionsbegrenzung bei Biogasanlagen und Bioabfallvergärungsanlagen" Förderkennzeichen: 363 01 424, im Auftrag des Umweltbundesamtes, (unveröffentlicht).

Daniel-Gromke, J.; Oehmichen, K.; Liebetrau, L.; Krebs, C. (2012): Emissionen klimarelevanter Gase bei der Biogasgewinnung. Treibhausgas-Bilanz der Biogasproduktion auf der Basis von Emissionsmessungen an realen Biogasanlagen. In: KRdL-Expertenforum „Biogasanlagen“. Vol. 46. Bonn: KRdL-Schriftenreihe – ISBN 978-3-931384-76-0

Daniel-Gromke, J.; Liebetrau, J.; Denysenko, V.; Krebs, C. (2015): Digestion of bio-waste - GHG emissions and mitigation potential. In: Energy, Sustainability and Society. 5:3, doi:10.1186/s13705-014-0032-6.

Daniel-Gromke, J.; Denysenko, V.; Barchmann, T.; Reinelt, T.; Trommler, M. (2014): Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und dessen Nutzung - Status quo und Perspektiven. In: Immissionsschutz Recht-Anlagenbetrieb und -optimierung. S. 133–149 – ISBN 978-3-944310-16-9

Fischer, E.; Postel, J.; Stur, M.; Fischer, E. (2015): Repowering im Biogasanlagenbestand – Einführung des Nutzungsgrades zur Bewertung von effizienzsteigernden Maßnahmen. In: OTTI-Forschungskolloquium Bioenergie 11.+12. Februar 2015 in Straubing. S. 245-248.

FNR (Hrsg.) (2015): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. 1. Auflage.

FNR (Hrsg.) (2009): Biogas-Messprogramm II - 61 Biogasanlagen im Vergleich.

Häring, G.; Sonnleitner, M.; Zörner, W.; Brüggling, E.; Brücker, C.; Wetter, C.; Vogt, R. (2011): Ökologische und ökonomische Optimierung von bestehenden und zukünftigen Biogasanlagen. Forschungsvorhaben im Auftrag des BMU, FKZ O3MAP155, Ingolstadt.

Liebetrau, J.; Daniel-Gromke, J.; Oehmichen, K.; Weiland, P.; Friehe, J.; Clemens, J.; Hafermann, C. (2011): Emissionsanalyse und Quantifizierung von Stoffströmen durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung und Inventarisierung der Deutschen Landwirtschaft. FNR e.V., FKZ: 22023606.

Liebetrau, J.; Krebs, C.; Daniel-Gromke, J.; Denysenko, V.; Stinner, W.; Nebel, E.; Cuhls, C.; Mähl, B.; Reinhold, J. (2012a): Analyse von Emissionen klimarelevanter Gase durch Biogasanlagen im Hinblick auf die ökologische Bewertung der Biogasgewinnung aus Abfällen. BMU, FKZ: O3KB027.

Liebetrau, J.; Reinelt, T.; Clemens, J.; Hafermann, C.; Friehe, J.; Weiland, P. (2013): Analysis of greenhouse gas emissions from 10 biogas plants within the agricultural sector. In: Water Science and Technology. 67 (6), S. 1370 – 1379.

Liebetrau, J.; Daniel-Gromke, J.; Krebs, C. (2012b): Emissionen aus Vergärungsanlagen- Erfahrungen aus dem landwirtschaftlichen Bereich und aus der Abfallbehandlung. In: Immissionsschutz- Aktuelle Entwicklungen in anlagenbezogenen Planungsprozess und Immissionsschutz. Bd. 3. Neuruppin, S. 337 – 351 – ISBN 978-3-935317-90-0

Postel, J.; Liebetrau, J.; Clemens, J.; Hafermann, C.; Weiland, P.; Friehe, J. (2010): Emissionsreduzierung von Biogasanlagen durch Anwendung des Standes der Technik, Internationale Bio- und Deponiegas Fachtagung „Synergien nutzen und voneinander lernen IV“ 4. / 5. V.

Reinelt, T. (2014): Betriebsbedingte Methanemissionen aus Über-/Unterdrucksicherungen. In: Biogas Journal, 5.

Reinelt, T.; Westerkamp, T.; Daniel-Gromke, J. (2013): Quantifizierung diffuser Emissionen an Biogasanlagen und Maßnahmen zur Emissionsminderung. In: Tagungsband 7. Rostocker Bioenergieforum, Schriftenreihe Umweltingenieurwesen der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock. Bd. 36. Rostock, S. 387 – 397 – ISBN 978-3-86009-207-1

Scheftelowitz, M.; Daniel-Gromke, J.; Rensberg, N.; Denysenko, V.; Hillebrand, K.; Naumann, K.; Ziegler, D.; Witt, J.; Beil, M.; Beyrich, W. (2014): Stromerzeugung aus Biomasse. Zwischenbericht Juni 2014. Projekt gefördert vom Projektträger Jülich, FKZ O3MAP250, Forschungszentrum Jülich GmbH im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), Leipzig.

Westerkamp, T.; Reinelt, T.; Oehmichen, K.; Ponitka, J.; Naumann, K. (2014): KlimaCH₄ – Klimaeffekte von Biomethan (DBFZ Report Nr. 20). DBFZ, Leipzig. (online) – ISSN 2197-4632

Winterberg, R.; Fischer, E.; Postel, J.; Rensberg, N.; Daniel-Gromke, J.; Stinner, W.; Böker, H. (2012): Empfehlungen zur Auslegung zum Betrieb und zur Optimierung von Biogasanlagen. Ergebnisse einer Untersuchung in der Altmark, im Auftrag der Regionale Planungsgemeinschaft Altmark.

Würdemann, H.; Kleyböcker, A.; Lienen, T.; Liebrich, M.; Brehmer, M.; Kraume, M.; Daniel-Gromke, J.; Lorenz, H.; Balussou, D.; McKenna, R.; Moeller, L.; Görsch, K.; Müller, R.; Zehndorf, A.; Zirkler, D.; Kaupenjohann, M. (2014): OPTGAS- Vergleichende Untersuchungen an großtechnischen Biogasreaktoren. In: D. Thrän, D. Pfeiffer (Hrsg.): Neue Wege zur Prozessoptimierung in Biogasanlagen - Abgeschlossene Vorhaben BMU-Förderprogramm Teil I, Leipzig, S. 9–24 – ISSN 2192-1806



Foto: Annamartha, www.pixelio.de



Tierische Nebenprodukte als Monosubstrat

Die Ursachensuche zur Schaumbildung auf einer Biogasanlage zur Monovergärung von tierischen Nebenprodukten beweist sich als komplexe Herausforderung

Florian Rüschi Pfund
zhaw Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Fachstelle Umweltbiotechnologie

Foto: Biogasanlage der Biorender AG in Münchwilen (CH), Foto: F. Rüschi Pfund

Auf der Biogasanlage zur Monovergärung von TNP in Münchwilen (CH) kann die prognostizierte Anlagenleistung nicht erreicht werden. Einer der Hauptgründe dafür ist die anhaltend starke Schaumbildung in den Fermentern. Die Suche nach Gründen für die Schaumbildung und -stabilisierung führt zu einem umfassenden Ursachen- und Massnahmenkatalog.

Die geplante Leistung kann in den ersten Betriebsjahren nicht erreicht werden

Die Biorender AG in Münchwilen (CH) verarbeitet in ihren drei Fermentern fast ausschließlich tierische Nebenprodukte (TNP), welche als Abfallprodukte aus der Fleischverwertung anfallen. Dieses spezielle protein- und fetthaltige Rohmaterial stellt zusätzlich zur Monovergärung sehr hohe Ansprüche an die Anlagen- und Verfahrenstechnik einer Biogasanlage. Eine vergleichbare Anlage gibt es – nach aktuellem Kenntnisstand – weltweit nicht. Aus diesem Grund wurde bei verschiedenen Verfahrensstufen und insbesondere in der Kombination einzelner Verfahrensschritte Neuland betreten (vgl. Abbildung 1).

Die Anlage beweist zwar eindrucksvoll, dass eine Monovergärung von TNP auf einem hohen Level möglich ist, erreicht aber in den ersten drei Betriebsjahren die prognostizierte Leistung nicht. Eine der technischen Hauptursachen dafür ist die permanente, starke Schaumbildung in den Fermentern, welche schon von Beginn an in allen drei Fermentern auftrat. Diese konnte bis heute nicht eliminiert oder soweit kontrolliert werden, dass ein reibungsloser Anlagenbetrieb möglich ist.

Die starke Schaumbildung erforderte ein erhebliches Absenken des Füllstandes in den Fermentern. Diese Maßnahme führte auf der einen Seite zwar zu einem viel sichereren, konstanteren Anlagenbetrieb, schränkte auf der anderen

Seite aber die Anlagenkapazität stark ein. Durch die Absenkung des Füllstandes liegt der durchschnittliche Fermenterfüllstand seit Inbetriebnahme bei rund 12,8 m, also rund 2 m unter dem geplanten Sollwert von 14,8 m und rund 4 m unterhalb des maximal möglichen Flüssigkeitsniveaus. Dies bedeutet ein Verlust an Nutzvolumen von ungefähr 13,5 % bezogen auf den Sollwert und rund 25 % bezüglich des maximal möglichen Nutzvolumens.

Direkte Folgen der Abnahme des Fermenternutzvolumens sind bei gleichbleibendem Substratdurchsatz eine erhöhte organische Raumbelastung der Biozönose und eine kleinere hydraulische Verweilzeit des Gärmaterials, also eine verminderte Leistungsfähigkeit der Anlage und eine tiefere Abbaurrate des Gärsubstrats. Die daraus resultierende größere Beanspruchung der anaeroben Mikroorganismen geht einher mit einer geringeren Biogasproduktion.

Betriebsdaten werden aufbereitet, analysiert und ausgewertet

Im Rahmen einer Studie des Schweizerischen Bundesamtes für Energie (BFE) zur Leistungssteigerung der Biogasproduktion bei der Monovergärung von tierischen Nebenprodukten (BAIER et al., 2014) wurden die vorhandenen Betriebsdaten hinsichtlich einer Leistungssteigerung aufbereitet, analysiert und ausgewertet.

Ein wesentlicher Bestandteil dieser Datenanalyse betraf die

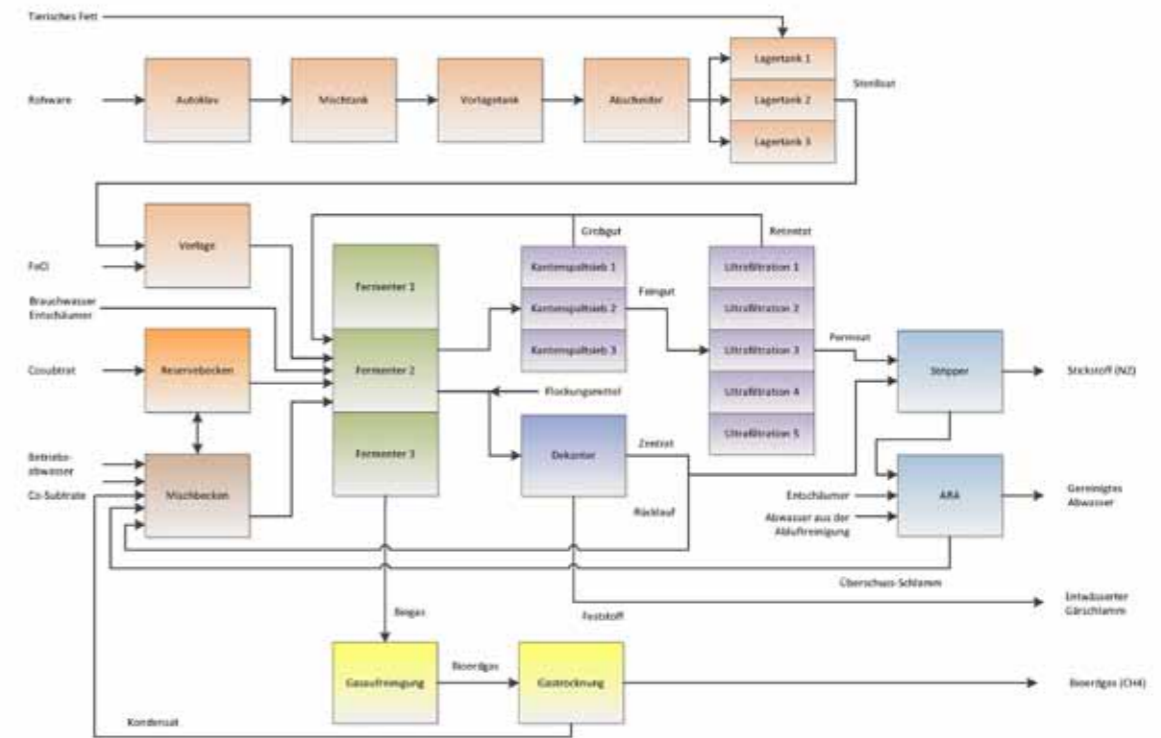


Abbildung 1: Vereinfachtes Blockfließbild der Biogasanlage in Münchwilen (CH), Quelle: Eigene Darstellung

Schaumbildung in den Fermentern. Mögliche Ursachen für die Schaumbildung und Schaumstabilisierung wurden anhand der verfügbaren Betriebsdaten und aufgrund von Literaturhinweisen gesucht. Maßnahmen zur Handhabung, Vermeidung sowie Bekämpfung des Schaums wurden geklärt.

Diverse Arbeitshypothesen werden aufgestellt und bewertet

Es ist sehr umfangreiches Datenmaterial aus den ersten Betriebsjahren vorhanden, welches ausgewertet und bezüglich der festgestellten Hauptprobleme interpretiert wurde. Aus diesen Daten wurden, falls möglich, direkt belegbare Schlüsse gezogen oder Thesen formuliert, welche mit weiteren Versuchen abgesichert werden müssen.

Die zu untersuchenden Daten bestehen aus Online-Messwerten des Betriebsleitsystems, aus durch das Betriebspersonal erhobenen Analysedaten, aus externen Laboranalysen sowie Daten von Labor- und Pilotversuchen. Unter anderem sind über einen großen Zeitraum händisch durch das Betriebspersonal aufgenommene Daten bezüglich der Schaumhöhe in den einzelnen Fermentern vorhanden (vgl. Abbildung 2).

Sämtliche relevanten Daten wurden für eine Datenanalyse aufbereitet. Ein erster Schritt beinhaltete dabei die vertiefte Betriebsdatenauswertung bezogen auf die Hauptfragestellungen, eine Liste relevanter Anlagenkennzahlen, Sensitivitätsanalysen sowie grafische Auswertungen. Es wurden Arbeitshypothesen aufgestellt und Strategien erarbeitet, die zur Problemlösung beitragen könnten. Erhärtet durch die Auswertung des bestehenden, sehr umfang-

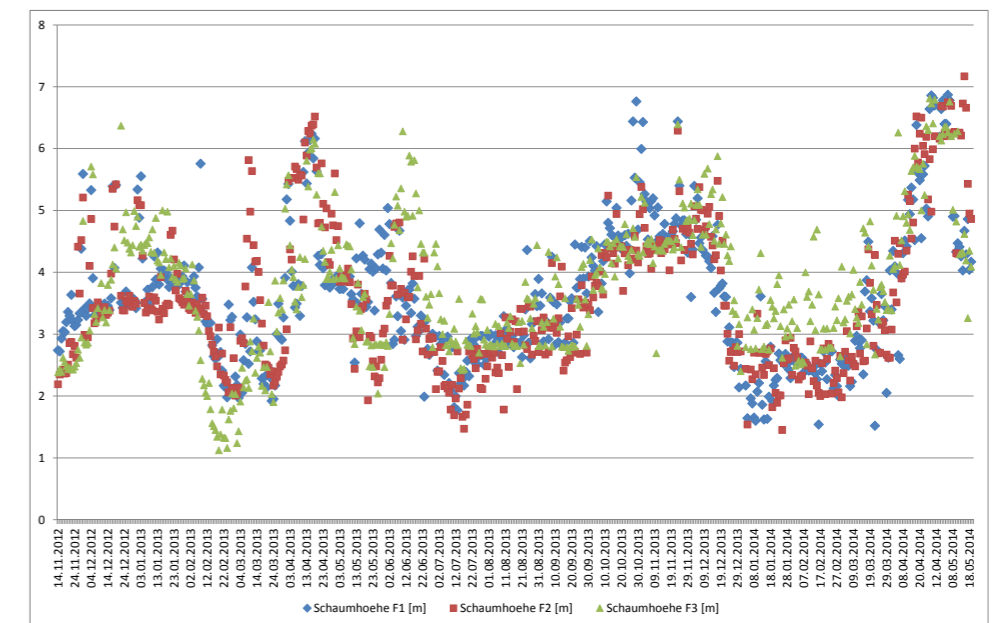


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Schaumhöhe in den drei Fermentern der Biogasanlage, Quelle: Eigene Darstellung

reichen Datenmaterials des Anlagenbetriebs und durch verschiedene Testresultate, wurden realistische Szenarien erarbeitet, wie eine wahrscheinliche Ursache detektiert werden kann.

Folgendes konkrete Vorgehen zur Findung von Massnahmen zur Ursachen- & Problembekämpfung wurde definiert:

1. Sichtung, Aufbereitung und Auswertung des vorhandenen Datenmaterials,
2. zusätzliche Datenerhebung und Analysen,
3. Literaturstudium zu den definierten Fragestellungen,
4. Interpretation des vorhandenen Datenmaterials,
5. Formulierung von Thesen zur Ursachenfindung,
6. Formulierung von möglichen Maßnahmen.

Die Liste der möglichen Ursachen, Möglichkeiten der Detektierbarkeit sowie ausführbare Maßnahmen zur Schaumverhinderung oder Schaumbekämpfung wurden anschließend mit Literaturangaben abgeglichen und in einem Fachgremium besprochen.

Die Suche nach Ursachen ist eine komplexe Aufgabe

Gründe und Ursachen für die Schaumbildung und -stabilisierung gibt es viele. Es ist gut möglich, aber keineswegs sicher, dass diese ausschließlich auf der technischen Ebene zu finden sind. Es ist zum Beispiel durchaus vorstellbar, dass ein einzelnes chemisches Element oder Molekül, zum Beispiel ein Eisenkomplex, alleiniger Grund für die Schaumbildung ist. Erhöhte Eisenkonzentrationen könnten aber auch Stress bei den Mikroorganismen auslösen, was nachweislich zu Schaumbildung führen kann (indirekte Ursache).

Die Lösung des Problems kann also unmittelbar auf der Hand liegen. Genauso gut kann es aber auch sein, dass verschiedene und zahlreiche Ursachen für dieses Phänomen bestehen. Gemäß MOELLER et al. (2013) steht bei der

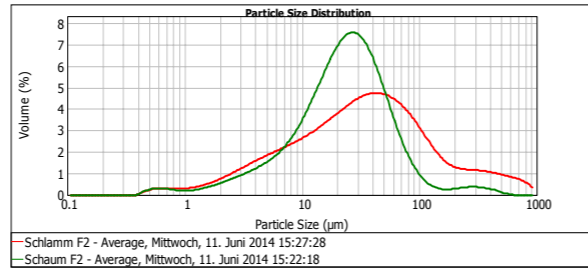


Abbildung 3: Vergleich des Korngrößenspektrums des Gärsubstrats (rot) und des Schaums (grün), Quelle: Eigene Darstellung

Schaumvermeidung die Prävention an erster Stelle. Neben den Eigenschaften der Ausgangssubstrate sei auch die Schaumbildung durch Stress der Biozönose ein verbreitetes Phänomen in Biogasanlagen. Die Mikroorganismen reagieren nachweislich nicht nur sensibel auf eine ungeeignete Betriebsführung der Anlage (Schwankungen aufgrund der Fütterung, Nährstoffmangel, Überfütterung, pH-Wert, Temperatur etc.), sondern auch auf eine ungeeignete Anlagen- bzw. Verfahrenstechnik (Scherstress, pH-Schwankungen, Druck- und Temperaturgradienten). Insbesondere bei der Inbetriebnahme oder beim Wiederanfahren der Anlage sei daher oft Fingerspitzengefühl gefragt.

Die Art des Schaums kann Hinweise zur Ursache geben

Schaumproben wurden nach Inhaltsstoffen (Fett- und Stickstoffgehalt) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass der Schaum im Vergleich zum Gärsubstrat einen höheren Fett- und tieferen Stickstoffgehalt aufweist. Die Vermutung liegt daher nahe, dass nicht abgebaute Anteile von tierischem Fett den entsprechenden Schaum bilden.

Abgesehen von der Möglichkeit der chemischen Inhaltsstoff-Analyse bietet die Korngrößenspektroskopie eine einfache, aussagekräftige und schnelle Methode, um Unter-

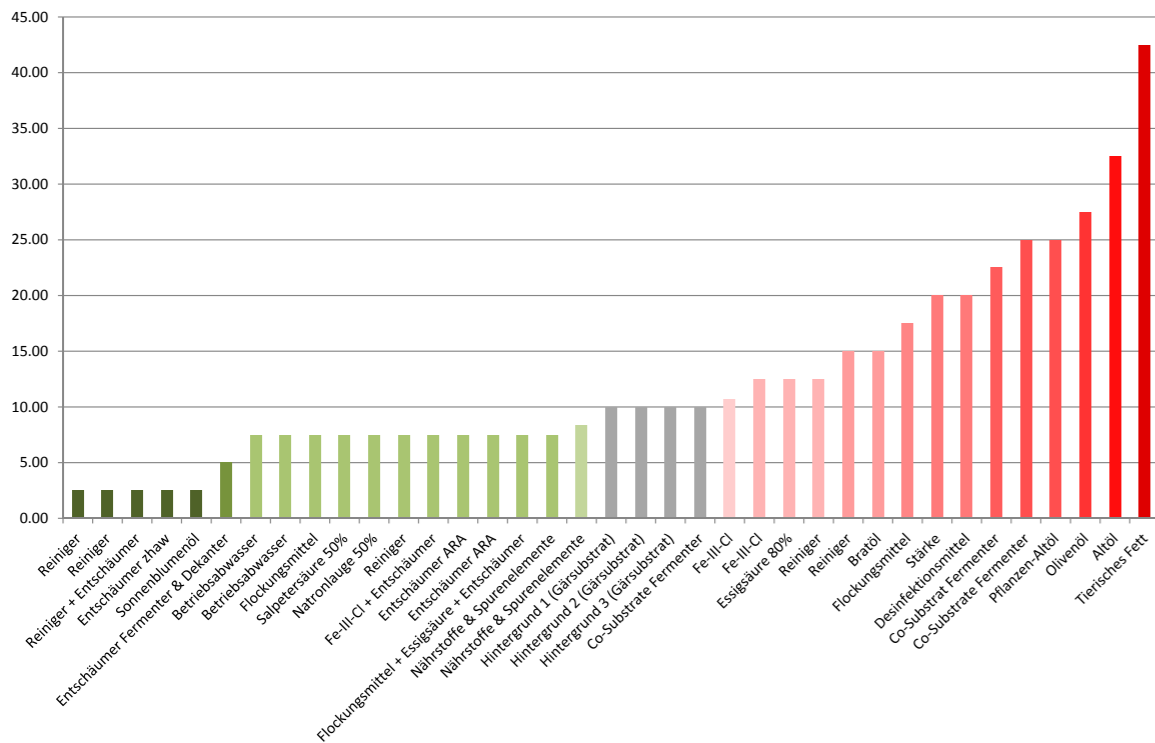


Abbildung 4: Schaumbildung im Laborversuch mittels Leipziger Schaumtest: Diverse Substrate, Betriebs- und Hilfsmittel wurden dem Gärsubstrat zugegeben und mit der Nullprobe (grau) verglichen. Tendenzen der einzelnen Substanzen zur Schaumbildung (rot) und Schaumunterdrückung (grün) konnten so festgestellt werden, Quelle: Eigene Darstellung

schiede zwischen den Eigenschaften des Gärsubstrats und des daraus gebildeten Schaums zu detektieren.

Die in Abbildung 3 dargestellten Korngrößenverteilungen zeigen eindeutig, dass die Teilchen im Gärsubstrat und entsprechenden Schaum nicht dieselben sind. Während der Peak des Gärsubstrats bei ca. 40 µm liegt, ist derjenige der Schaumprobe knapp unter 30 µm. Dies lässt den Schluss zu, dass die Zusammensetzung des Schaums entweder aufgrund einer chemischen Reaktion mit derjenigen des Gärsubstrats nicht identisch ist oder dass nur gewisse Gärsubstrat-Bestandteile im Schaum vorzufinden sind.

Die Art des Ausgangssubstrats birgt Potenzial zur Schaumbildung

Abgesehen von einer nicht ausgewogenen Fütterung können auch einzelne Substrate oder Stoffe für die Schaumbildung und -stabilisierung verantwortlich sein, z. B. aufgrund ihrer Oberflächenspannung oder Viskosität. Bekannte schaumfördernde Ausgangssubstrate sind beispielsweise schnell abbaubare Substrate wie Fette und Öle, wie auch solche mit hohen Proteinanteilen. Getreide, z. B. in Form von Schrot oder Ganzpflanzensilage weisen stark schaumbildende Eigenschaften auf. Stärke, Pektin und andere Kohlenhydrate haben auf den Schaum oft eine stabilisierende Wirkung. Auch stoffhaltige Substrate können eine übermäßige Schaumbildung auslösen. Dazu gehören z. B. solche mit bioziden Eigenschaften wie Schimmelpilz und Antibiotika, aber auch hemmende Konzentrationen von Ammonium, Ammoniak oder Schwefelwasserstoff sowie schaumbildende Betriebsmittel, insbesondere Tenside. Schließlich kann auch die Korngröße der Ausgangssubstrate einen direkten Einfluss haben, da diese über die Struktur des Gärmaterials bestimmen. Die Mahlfineinheit von Getreideprodukten spielt für die Schäumungsintensität und Schaumstabilität eine wichtige Rolle (MOELLER et al., 2013). Im Umweltbiotechnologie-Labor der zhaw wurden gemäß der Methodik des Leipziger Schaumtests sämtliche Ausgangssubstrate sowie zahlreiche Hilfs- und Betriebsmittel (insgesamt über 30 Substrate und Substanzen) auf ihre Neigung zur Schaumbildung getestet.

Im Vergleich zur Nullprobe wiesen hauptsächlich Fette, Öle sowie Substanzen mit einem sauren pH-Wert eine Tendenz zur Schaumbildung auf (Abbildung 4). Festgestellt wurde, dass insbesondere auch die Inkubationstemperatur einen erheblichen Einfluss auf die Bildung und Stabilität des Schaums ausübt.

Adäquates Betriebsregime kann Schaumbildung verhindern

Hat der Betreiber einer Vergärungsanlage seine Prozesse im Griff und versteht er die chemischen, physikalischen und biologischen Abläufe seiner Verfahrensschritte, kann er durch professionellen Anlagenbetrieb das Phänomen der übermäßigen Schaumbildung unter Umständen vermeiden. Ein möglichst konstantes, optimiertes Rühr- und Fütterungsregime und eine stabile Prozessführung sind dabei sehr wichtig. In Abbildung 5 sind sämtliche Messwerte des Schaumniveaus in den drei Fermentern nach Tagesuhrzeit aufgetragen. Eine Tendenz ist ersichtlich, dass tagsüber geringere Schaumhöhen gemessen wurden als in den Abendstunden und während der Nacht. Die während der Arbeitszeiten intensivere betriebliche Betreuung der Biogasanlage scheint die Schaumbildung direkt zu beeinflussen. Die Auftragung der Messdaten über den Wochenverlauf bestätigt diese Tendenz: An den Wochenenden ist eine klare Erhöhung des Schaumniveaus im Vergleich zu den Arbeitstagen festzustellen.

Anlagen- bzw. Verfahrenstechnik können Ursachen für die Schaumbildung sein

Entscheidend ist auch die installierte Anlagentechnik. Ein detailliertes Augenmerk wird dabei auf die hydraulische Situation im Fermenter und der peripheren Anlagenteile gerichtet. Turbulente Strömungen, aber auch strömungsarme Regionen tragen entscheidend zur Schaumbildung bei, beispielsweise, wenn sie zur Sedimentation von Feststoffen führt oder zur Schwimmschichtbildung. Das Aufrühren von Sedimenten kann gemäß MOELLER et al. (2013) ebenfalls schaumbildende Wirkung haben.

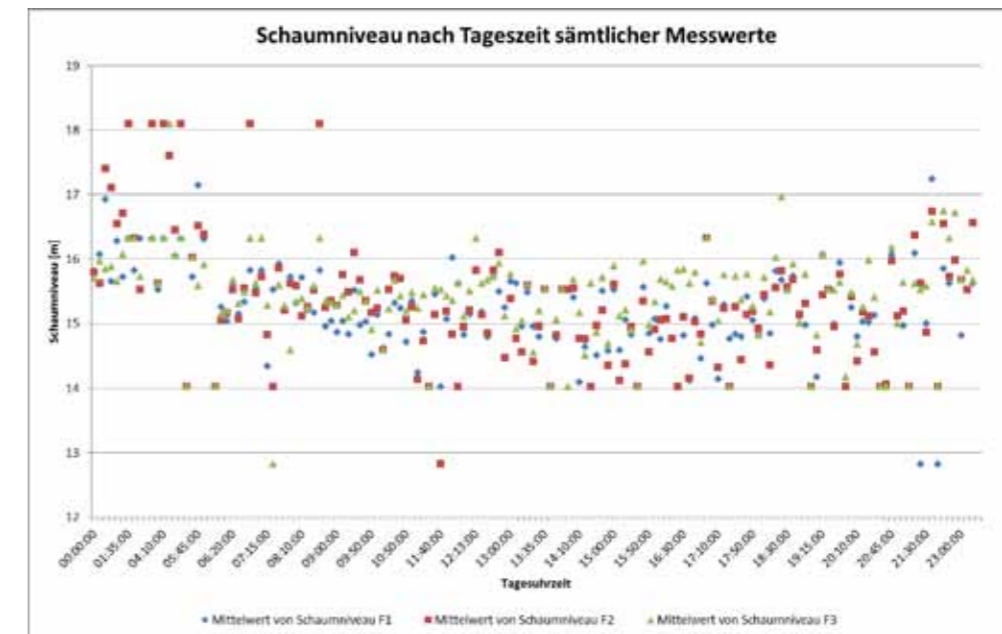


Abbildung 5: Schaumniveaumesswerte in den drei Fermentern aufgetragen nach Tagesuhrzeit, Quelle: Eigene Darstellung

Im Vordergrund bezüglich der installierten Anlagentechnik stehen die Rühr- und Pumpentechnik, die Strömungsführung und Druckverhältnisse sowie die Einbringtechnik von Stoffflüssen in den Fermenter. Wichtig ist aber auch die Situation bezüglich des Wärmehaushaltes. Bei einem Vergleich von PAGILLA et al. (1997) zwischen einer mechanisch und einer gasdurchmischten Vergärungsanlage zeigte sich, dass die Schaumneigung im gasdurchmischten System wesentlich höher war. Der Einfluss von Gasblasen auf die Strömungsverhältnisse und die Schaumbildung an der Fermenteroberfläche ist daher nicht außer Acht zu lassen. Die Durchmischung, Gasblasengröße und Gasblasengeschwindigkeit an der Oberfläche sowie weitere, oben genannte Parameter, werden z. B. direkt von der Fermenter-Geometrie und Rührwerkstechnik beeinflusst.

Auch Mikroorganismen sind potenzielle Schaumbildner

Mangel- und Überdosierungserscheinungen von Nährstoffen wie auch Hemm- und Giftstoffe können die Biozönose beeinträchtigen, zu Stress bei den anaeroben Mikroorganismen führen. In verschiedenen Fachartikeln zur Schaumbildung in Biogasanlagen wird diskutiert, ob die Schaumbildung durch eine Stresssituation spezifischer Mikroorganismen hervorgerufen werden kann. Allenfalls könnten auch spezifische Bakterienstämme einen Einfluss auf die Schaumbildung oder -stabilität haben. Aus der Erfahrung mit kommunalen Kläranlagen ist bekannt, dass Faden bildende Mikroorganismen wie *Microthrix parvicella* durch ihre Schwimmschlamm bildenden Eigenschaften Ursache für das periodische Auftreten von Schaum sind. Die mikroskopische Aufnahme der vorliegenden Schaumprobe (siehe Abbildung 6) zeigte weder im Gärsubstrat noch in der entsprechenden Schaumprobe fädige Strukturen. Aufgrund der Erkenntnis, dass bereits eine gestresste Biozönose zur Schaumbildung in Biogasanlagen führen kann,

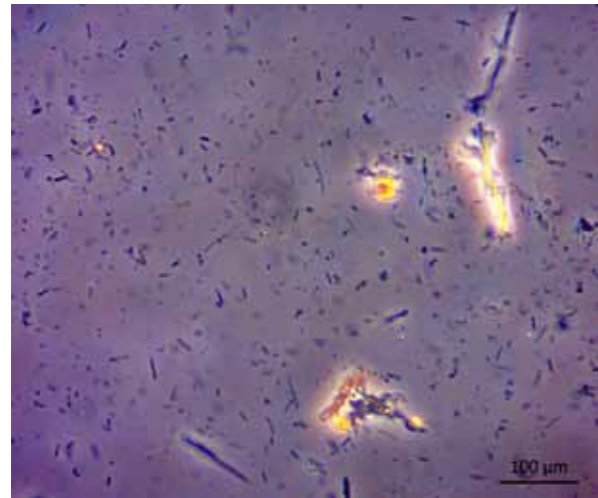


Abbildung 6: Mikroskopische Aufnahme einer Schaumprobe: Es sind keine fadenförmigen Bakterien zu erkennen. Quelle: Rolf Warthmann, zhaw

kommen sämtliche Einflussgrößen, welche das Gleichgewicht der Biozönose stören, grundsätzlich als Ursache für die Schaumbildung in Frage. Insbesondere sind hier Stör- und Hemmstoffe wie Antibiotika, Schwermetalle, Ammonium und Ammoniak oder Schwefelwasserstoff zu benennen, aber auch ungünstige Milieubedingungen, wie Nährstoff- und Spurenelementmangel, ungünstige Nährstoffverhältnisse und Überfütterung. Weitere prozessbedingte Phänomene, wie Schwankungen in der Gärtemperatur, Druck- und pH-Wert-Gradienten und Scherkräfte sind zu beachten.



Abbildung 7: Expertenrunde zur Bewertung von möglichen Schaumbildenden Ursachen auf der Biogasanlage in Münchwilen und zur Diskussion von geeigneten Maßnahmen zur Schaumvermeidung und -bekämpfung, Quelle: Urs Baier, zhaw

Auf der Suche nach den Gründen der Schaumbildung entstand ein ausführlicher Ursachen- und Maßnahmenkatalog

Im Rahmen der Studie von BAIER et al. (2014) wurde ein Workshop durchgeführt, an welchem zusammen mit dem Betriebspersonal und Fachexperten mögliche Ursachen der Schaumbildung und Schaumstabilisierung auf der Monovergärungsanlage in Münchwilen bewertet wurden. Des Weiteren wurden Möglichkeiten der Detektion der Ursachen diskutiert sowie Maßnahmen zur Problem- und/oder Symptombekämpfung beurteilt. Grundlage für die Diskussion war der Ursachenkatalog der Tabelle 1 (rote Spalte „A“), welche vorerst thematisch aufgliedert wurde (graue Spalte). In einem nächsten Schritt wurde die Wahrscheinlichkeit beurteilt, ob der genannte Punkt auf der entsprechenden Anlage einen Einfluss auf die Schaumbildung oder Schaumstabilisierung hat. Anschließend wurde eine mögliche Detektionsmethode definiert und deren Durchführbarkeit bewertet (blaue Spalten „B“). Schließlich wurden Maßnahmen zur Schaumvermeidung aufgestellt und die Möglichkeiten einer Umsetzung abgeschätzt (grüne Spalten „C“). In der letzten Spalte wurden nun die Bewertungen miteinander multipliziert (A*A*B*C), um daraus die prioritär erkannten Ursachenbereiche und Stoßrichtungen für Maßnahmen abzuleiten: Je höher die Zahl bzw. je grüner die Zelle, desto größer die Wahrscheinlichkeit.

Legenden zur Tabelle 1:

A	B	C
1 nicht problematisch	0 nicht durchführbar	0 nicht durchführbar
2 kaum oder teilweise problematisch	1 kaum durchführbar	1 kaum lösbar
3 vermutlich problematisch	2 aufwändig durchführbar	2 aufwändig zu lösen
	3 gut durchführbar	3 einfache Lösung möglich

Tabelle 1: Arbeitshypothesen Schaumbildung in den Fermentern der Biorender AG, Münchwilen

Fokus auf	1-3	Ursache für Schaumbildung oder -stabilisierung	1-32	Detektion	1-33	Bekämpfung	A*A*B*C
Sterilisat	3	Schlachtabfälle	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	3	Blutschlamm	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	3	Flotate	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	3	Borsten/Federn	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	2	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	18
	3	Kadaver	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	3	Lebensmittelabfälle (Speisereste, Rüstabfälle etc.)	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
Co-Substrat	3	Sterilisat (gemischt)	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	27
	1	Verpackte Lebensmittelabfälle	1	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	3
	1	Miroma (Rivella-Reststoffe; Milchserum)	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	3	Weizen-Abschwemm-Milch	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	81
	1	Stripper-Rückführung	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	3
	2	Kondensat Biogasaufreinigung	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	2	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	24
Hilfsmittel	3	Überschussschlamm	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse, Mikroskopie	2	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	54
	1	Enzyme	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	1	FeCl	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	3
	1	Flotationshilfsmittel	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	1	Kartoffelstärke (Licocat)	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
	1	NaOH	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	3	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	9
Inhaltsstoff	1	Reinigungsabwasser	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	2	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	6
	2	Desinfektionsmittel	2	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	8
	3	Fett	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	27
	3	Protein	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	1	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	27
	3	Polysaccharide	3	Schaumtest, Inhaltsstoffanalyse	2	Verzicht/Alternative, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	54
	Eigenschaft	1	Oberflächenspannung	3	Analytik	3	Zusatz (Antifoam), Schwimmkörper
2		Viskosität	2	Analytik	2	Enzympräparate	16
3		Korngröße	3	Analytik	1	Vorbehandlung	27
3		Struktur	2	Laborversuche/Pilotierung	2	Zusatz (Stroh)	36
1		Schwimmschicht	0	n.a.	0	n.a.	0
1		Ablagerung	3	Probenahme	2	Rühren, Absaugen, Ausbaggern...	6
Biogasbildung	1	Menge	3	Datenanalyse	1	Anpassung Anlagentechnik	3
	3	Hydrolyse (Schaum bildende Stoffe werden freigesetzt)	2	Laborversuche/Pilotierung	2	Anpassung Anlagentechnik, Vorbehandlung, Betriebsoptimierung	36
Fermenter	1	Geometrie	1	Simulation/Modellierung, Anpassung Anlagentechnik	1	Anpassung Anlagentechnik	1
	2	Hydraulik, Druckverhältnisse	2	Verhältnisse im Betrieb verändern	2	Verhältnisse im Betrieb verändern	16
	3	Rühren	3	Betrieb/Anlagentechnik anpassen	2	Betrieb/Anlagentechnik anpassen	54
Betriebsregime	3	Beschicken	3	Betrieb/Anlagentechnik anpassen	2	Betrieb/Anlagentechnik anpassen	54
	2	lokale Temperaturgradienten	2	Laborversuche/Pilotierung	2	Wärmetauscher	16
Prozeßgrößen	2	Druckgradient	2	Betrieb/Anlagentechnik anpassen	2	Betrieb/Anlagentechnik anpassen	16
	3	Abbaubarkeit	2	Laborversuche/Datenanalyse	3	Verzicht/Alternative Substrat, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	54
	3	Raumbelastung	3	Datenanalyse/ev. Pilotierung	2	Verzicht/Alternative Substrat, Vorbehandlungsmöglichkeit, Mengenanpassung	54
Biozönose	3	Gärtemperatur	3	Datenanalyse/Laborversuche	3	Betriebseinstellung	81
	3	Gärtemperaturschwankungen	3	Datenanalyse/Laborversuche	2	Anpassung Anlagentechnik	54
	2	pH-Wert Gärtschlamm	3	Datenanalyse/Laborversuche	2	pH-Korrektur	24
	3	FOS gesamt	3	Datenanalyse	3	Betriebseinstellung	81
	3	FOS einzeln	2	Analytik	2	Betriebseinstellung, Prozesskontrolle	36
	1	Mikroorganismen (Faden bildende)	3	Mikroskopie	2	Ausdünnen, Milieu verändern	6
Nährstoffe	2	Mikroorganismen (Schaum bildende; z.B: Tensid bildend)	1	Mikroskopie	2	Ausdünnen, Milieu verändern	8
	2	Spezialisierte Biozönose	2	Nachimpfen	2	Nachimpfen, Rohmaterialzusammensetzung anpassen	16
	2	Absterbeprozess/ Absterbephase	1	Anpassung Schlammlalter, Belastung etc.	3	Betriebseinstellung	12
Spurenelemente	3	Mangel	3	Analyse, Zugabe	3	Zugabe, Rohmaterialzusammensetzung anpassen	81
	1	Überangebot	2	Analytik, Laborversuche	2	Vorbehandlung, Rohmaterialzusammensetzung anpassen	4
Vitamine	3	Mangel	3	Analytik, Laborversuche, Zugabe	3	Zugabe, Rohmaterialzusammensetzung anpassen	81
	3	Mangel	3	Laborversuche, Zugabe	3	Zugabe, Rohmaterialzusammensetzung anpassen	81
Störstoffe	3	Ammonium, Ammoniak	3	Analytik, Laborversuche	2	pH-Korrektur, Rohmaterialzusammensetzung anpassen, Adsorption, Entfernen	54
	1	Schwefelwasserstoff, Schwefel-Ionen	3	Analytik, Laborversuche	2	Verzicht/Alternative Substrat, Vorbehandlungsmöglichkeit	6
Vorbehandlung	3	Antibiotika	2	Analytik, Laborversuche	1	Verzicht/Alternative Substrat, Vorbehandlungsmöglichkeit	18
	2	Schwermetalle (z.B. Fe, Ni, Cu, Cr, Pb, Zn)	2	Analytik, Laborversuche	2	Verzicht/Alternative Substrat, Vorbehandlungsmöglichkeit	16
	3	Feinstoffe	2	Analytik, Laborversuche	2	Anpassung Anlagentechnik	36
	3	Zerkleinerung Rohware	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	36
	2	Temperatur	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	16
	2	Druck	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	16
Anlagentechnik	2	Anmischung/Homogenisierung	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	16
	1	Fermenter-Rührwerk	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	4
	2	Pumpen	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	16
Antischaummittel	2	Rohrleitungen	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	16
	3	Einbringtechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	36
	1	Falsche Zusammensetzung	3	Laborversuche, Zugabe	3	Änderung Antischaummittel	9
1	Ungünstige Dosierung	3	Laborversuche, Zugabe	3	Betriebseinstellung	9	
2	Ungünstige Einbringtechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	2	Anpassung Anlagentechnik	16	

lichkeit einer Beteiligung am Schaumphänomen, desto einfacher die Detektionsmöglichkeit und desto leichter durchführbar die Schaum bekämpfende oder Schaum verhindernde Maßnahme:

Aus obigem Ursachen- und Maßnahmenkatalog geht also hervor, dass auf der spezifischen Biogasanlage folgende Punkte und Vorgehensweisen zur Problemlösung angegangen werden sollten:

- Schaumtest mit verschiedenen Co-Substraten, speziell Weizen-Abschwemm-Milch und Überschussschlamm (ÜSS) aus der betriebsinternen ARA; allfälliger Verzicht des Co-Substrats bzw. Verzicht auf Rückführung des ÜSS in die Biogasanlage,
- Chemische Inhaltsstoffanalyse des Schaums hinsichtlich dem Gehalt an Polysacchariden, Fetten und Proteinen; allfälliger Verzicht auf spezifische Co-Substrate,
- Versuche zur Anpassung des Betriebsregimes bezüglich der Einbring- und Rührwerkstechnik; falls angezeigt Anpassung der Betriebsweise beziehungsweise Umbau und Optimierung einzelner Anlagenteile,
- Vertiefte Betriebsanalyse des Einflusses von biologisch bedeutenden Prozessgrößen wie Verweilzeit und Abbaubarkeit, Raumbelastung, Gärtemperatur und Temperaturgradienten sowie Analyse von flüchtigen organischen Säuren; allfällige Anpassung einzelner Prozessparameter,
- Analysen und Versuche bezüglich des Mangels an Nährstoffen, Spurenelementen und Vitaminen; gezielte Zugabe der fehlenden Stoff bzw. Ausgleich der Zusammensetzung des Ausgangssubstrat-Mixes,
- Analysen und Versuche bezüglich Störstoffe, im Speziellen von Ammonium und Ammoniak; allfällige Maßnahmen zur Reduktion derselben.

Schlussfolgerung

Die Lösung des Schaumproblems und das Erreichen der Anlagen-Volleistung von über 40 GWh Biomethan pro Jahr ist das definierte Ziel der Biogasanlage und scheint nach Berücksichtigung diverser anlagen- und betriebstechnischer Modifikationen möglich. Zur Zielerreichung ist es unumgänglich, Maßnahmen zu realisieren, die eine Nutzung des gesamten Fermentervolumens von rund 3'000 m³ und einen adäquaten Anlagendurchsatz ermöglichen. Allerdings sind dazu weitere Abklärungen, Forschungsarbeiten sowie zusätzliche Investitionen notwendig, um vielversprechende Verbesserungsmaßnahmen im Detail zu prüfen und umsetzen zu können. Sicher ist, dass Anpassungen an einzelnen Verfahrensschritten respektive deren Verknüpfung zu realisieren sind. Gleichzeitig ist eine Optimierung des Anlagenbetriebs notwendig, was sowohl eine unabhängigere und verfeinerte Betriebsführung, wie auch fachkundigeres Betriebspersonal erfordert.

Referenzen

- Baier B.; Hofer, H.; Rüscher Pfund, F.; Juszeko, A. (2014): Leistungssteigerung Monovergärung TNP – Leistungssteigerung der Biogasproduktion bei der Monovergärung von tierischen Nebenprodukten – Aufbereitung und Auswertung vorhandener Daten, Schlussbericht, Bundesamt für Energie, Bern.
- Moeller L.; Görsch, K.; Köster, Y.; Müller, R.A.; Zehndorf, A. (2013): Schaumbildung und Schaumvermeidung in Biogasanlagen, Schlussbericht. Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - Department Umwelt- und Biotechnologisches Zentrum, UFZ-Bericht 01/2013, Leipzig – ISSN 0948-9452
- Pagilla, K.; Craney, K.; Kido, W. (1997): Causes and effects of foaming in anaerobic sludge digesters. In: *Water Science and Technology* 36, Issues 6–7, p. 463-470.

Das Ende des Schaums

Bekämpfung der chronischen Schaumbildung der Biogas- anlage in Adelbach

Foto: Hajo Nägele

Hans-Joachim Nägele,
Universität Hohenheim, Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie 740

Eine Schaumproblematik im Fermenter der Agrarenergie Adelbach GmbH & Co KG führte über Jahre hinweg zu erheblichem Mehraufwand an Betriebskosten, Kontrollmaßnahmen und gefährdete den sicheren Betrieb der Biogasanlage. Zahlreiche Untersuchungen wurden durchgeführt und die auf dem Betrieb verwendete Mais- und Grassilage als Ursache identifiziert.

Rührwerksrepowering als Maßnahme zur Effizienzsteigerung

Im Rahmen eines Projektes zum Repowering an Biogasanlagen wurde die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie in Hohenheim damit beauftragt, Energiewirte beim Repowering der Rührwerke im Fermenter wissenschaftlich zu begleiten (GRAFETSTETTER et al., 2013). Ziel war es, Betriebe mit vergleichbarer Anlagengröße auf das Energieeinsparpotential sowie die Rührqualität in Zusammenhang mit einer Repoweringmaßnahme mit neuen Rührwerkstypen zu untersuchen. Einer dieser Betriebe, die Agrarenergie Adelbach GmbH & Co KG (Tabelle 1), stand vor der Entscheidung, optimierte Rührtechnik einzusetzen, da sich

aufgrund von „Schaumbildung“ technische Probleme und große Unsicherheiten beim Betrieb der Biogasanlage ergaben. In diesem Beitrag soll dargestellt werden, welche Maßnahmen der Betreiber unternahm, um die Schaumbildung zu untersuchen, zu unterdrücken und die damit verbundenen negativen Auswirkungen zu reduzieren. Bei der Biogasanlage der Agrarenergie Adelbach GmbH & Co KG handelte es sich um eine schlüsselfertige Anlage, bestehend aus Fermenter, Nachgärer und Gärproduktlager, welche im Jahr 2008 in Betrieb genommen wurde (Tabelle 1). Eine detaillierte Beschreibung des Betriebes findet sich in diesem Heft auf Seite 70.

Seit Ende 2011 kam es ohne besondere Vorzeichen zum Aufblähen des Gärsubstrates im Fermenter und starker Schaumbildung unter Bildung einer sehr zähen Masse. Als Folge konnte das Gärsubstrat nicht wie technisch vorgesehen über einen freien Überlauf vom Fermenter in den Nachgärer überlaufen. Der Betreiber beobachtete, dass der Füllstand in Rührpausen innerhalb weniger Minuten stark anstieg, was jedoch durch sehr häufiges und intensives Rühren kompensiert werden konnte. Auch durch den Test verschiedener Rührwerkseinstellungen (Drehrichtung, Pausen- und Rührzeit) konnte in dieser Zeit keine Verbesserung erzielt werden. Das Aufblähen und Schäumen des Substrats war ständig sichtbar, zu einigen Zeitpunkten noch intensiver als zu anderen, berichtete der Betreiber. Als erste Maßnahme wurde eine Untersuchung des Gärsubstrates auf prozessbiologische Parameter und Spurennährstoffe vom Betreiber in Auftrag gegeben. Diese zeigten einen nur geringen Mangel an Spurennährstoffen. Diese Spurennährstoffe werden seit diesem Zeitpunkt regelmäßig untersucht und ergänzt. Laut Betreiber hatte diese Maßnahme keine Auswirkung auf die Schaumbildung. Der Fermenter ist mit einer befahrbaren Betondecke versehen, die auf 60 cm hohen Unterzügen aufliegt. Durch das Aufblähen und die Schaumbildung kam das Gärsubstrat vermehrt mit den Unterzügen in Kontakt. Dies hatte zur Folge, dass die Drehbe-

Tabelle 1: Betriebsparameter der Biogasanlage

Betriebsparameter	
Betriebsweise/-temperatur [C°]	thermophil / 53
Installierte elektr. Leistung [kW]	550
Fermentervolumen [m ³]	1.700
Einbringtechnik	Vertikalmischer mit Eintragsschnecke
Rührwerke	2 Langachsührwerke
Antriebsleistung der Rührwerke [kW]	15
Fütterungsmenge – Tagesdurchschnitt [t/d]	34,9
Einsatzstoffe und Massenanteile	Gülle 32 %, Maissilage 57 %, Grassilage 11 %
Mittlere Hydraulische Verweilzeit [d]	45
Mittlerer TS-Gehalt [%] im Fermenter	10 (σ 0,4)
Mittlerer oTS-Gehalt [%] im Fermenter	79,3 (σ 0,5)
Raumbelastung [kg oTS/m ³ *d]	5,9
Untersuchungszeitraum	04.07. - 27.08.2012
Rührwerktausch	09.08.2012

wegung im Behälter an der Oberfläche deutlich behindert wurde. Erreichte die Gärsubstrat-Schaummasse die Unterzüge, konnte das Gas nicht mehr durch den Gasauslass abgeführt werden und die Noteinrichtung der Über- und Unterdrucksicherung führte das Gas in die Atmosphäre ab. In den Hohlräumen zwischen den Unterzügen bildete sich ein hoher Druck, da das Gas nicht in Richtung Gasauslass abströmen konnte. Der Betreiber befürchtete eine Verschmutzung der Gas führenden Leitungen sowie im schlimmsten Fall ein Anheben des Fermenterdaches. Nach Rücksprache mit dem Anlagenhersteller 2011 beschloss der Betreiber, die Rührwerksflügel durch eine optimierte Variante auszutauschen. Entgegen den Erwartungen wurde durch diese Maßnahme keine ausreichende Rührleistung erreicht. Der Betreiber musste an manchen Tagen mehrmals den Füllstand des Fermenters mittels einer Kreiselpumpe senken, um mehr Volumen zur Ausdehnung bereitzustellen. Offenbar war das Pumpen des Gärsubstrates aufgrund seiner extremen Zähflüssigkeit zeitweise nur stark eingeschränkt möglich. Um das Gärsubstrat aus dem Fermenter pumpfähig zu bekommen, vermischte der Betreiber im Pumpenschacht 1/3 Gärsubstrat aus dem Fermenter mit 2/3 Gärsubstrat aus dem Nachgärer. Er berichtete, dass er zum Abpumpen von 10 m³ Gärsubstrat aus dem Fermenter täglich eine Stunde zusätzlich aufwenden musste. Das intensive Rühren hatte einen massiven Anstieg des Eigenstromverbrauchs und damit steigende Kosten zur Folge. Die Messungen vor der Repoweringmaßnahme zeigten einen Eigenstrombedarf von ca. 300 kWh am Tag (Abbildung 1). Über einen Artikel in einer Biogas-Fachzeitschrift war der Anlagenbetreiber in dieser Zeit auf einen neuen Rührwerkstyp (Strömungsbeschleuniger) aufmerksam geworden. In Erwartung einer verbesserten Rührqualität bei verringertem Eigenstromverbrauch wurde dies zusätzlich zu den bisher verwendeten Rührwerken in den Fermenter eingebaut. Ziel dieser Maßnahme war es, ein homogenes, sich dauerhaft in Bewegung vorzufindendes Gärsubstrat zu erzeugen, so dass das Biogas jederzeit aus dem Gärmedium entweichen konnte. In den ersten Tagen nach der Umstellung wurde mit allen drei Rührwerken intensiv gerührt, um den Behälter vollständig zu durchmischen. Im Anschluss, so die Annahme, könnte das Rühren mit den beiden Langachs-rührwerken stark reduziert werden. Durch die anhal-

Tabelle 2: Fütterungsmengen, beinhalten TS- und oTS-Gehalte, Gärsubstrat-analysen für Essigsäuregehalt im Fermenter vor und nach der Repowering-maßnahme

	Repowering	Substrat-menge [t/d]	TS [%]	oTS [%]	Essig-säure [g/l]
Rohgülle	Vor	11,0	7,27	80,55	
	Nach	11,0	8,03	81,00	
Maissilage	Vor	18,2	39,62	92,60	
	Nach	19,6	39,86	95,60	
Grassilage	Vor	5,1	39,57	86,91	
	Nach	2,8	30,95	80,81	
GPS	Vor	-	-	-	
	Nach	2,1	33,09	95,87	
Gärsubstrat Fermenter	Vor		9,98	79,42	0,240
	Nach		10,15	79,19	0,399

tende Schaumbildung konnte dieses Einsparpotential hier jedoch nicht abgerufen werden. Ein signifikanter Einfluss des neuen Rührwerks auf die Gärguteigenschaften blieb aus und es wurde weiterhin ein Aufschäumen beobachtet. Infolgedessen wurde die Rühraktivität intensiviert und stieg auf ein Niveau, das um 50 kWh pro Tag höher lag als vor der Umrüstung.

Die dem Fermenter zugeführten Inputsubstrate (Tabelle 2) waren vor und nach der Repoweringmaßnahme nahezu identisch. Nach der Umrüstung wurde die Grassilage schrittweise durch Ganzpflanzensilage (GPS) ersetzt und 1,2 t Maissilage zusätzlich gefüttert. Auffällig waren die sehr hohen Trockensubstanzgehalte (TS) mit über 39 % in der Mais- und Grassilage im Zeitraum vor und nach der Umrüstung. Nach Auskunft des Betreibers wurde dies durch die witterungsbedingte Ernte im Jahr 2011 verursacht. Die TS-Gehalte im Gärsubstrat bewegten sich im Untersuchungszeitraum bei 10 %. Im Gärsubstrat konnten über den gesamten Zeitraum keine prozessbiologischen Störungen erkannt werden. Die Messungen zeigten Essigsäurewerte in einem Bereich weit unterhalb des Grenzwertes von 1 g/l. Zusätzlich zeigte keine der standardmäßig entnommenen

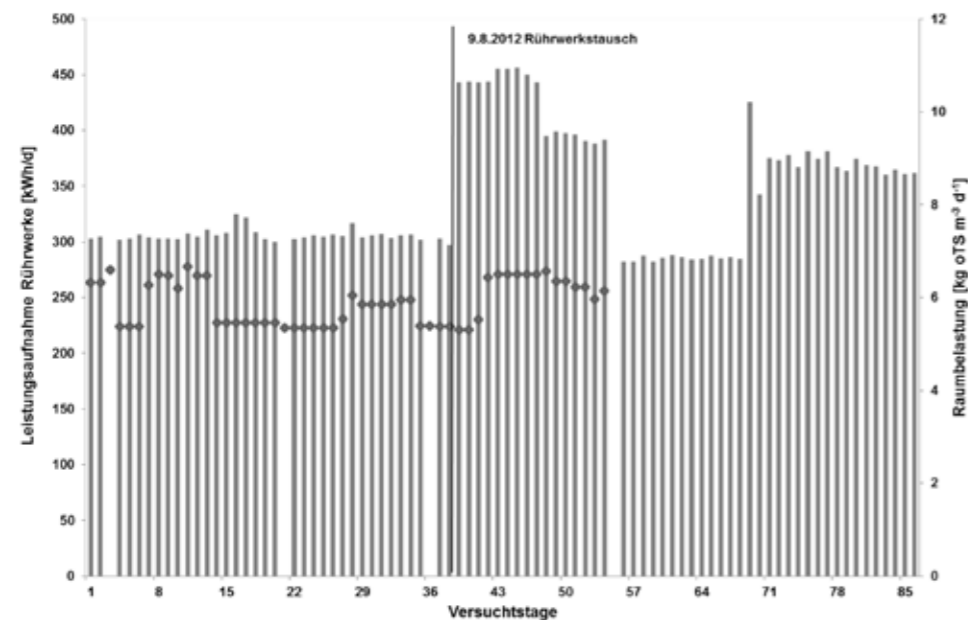


Abbildung 1: Leistungsaufnahme der Rührwerke vor und nach der Repoweringmaßnahme

Proben vor dem Versuchszeitraum eine Unterversorgung mit Spurennährstoffen sowie Hinweise auf prozessbiologische Störungen. Die Stabilität des Fermenters wurde als sehr gut bewertet. Zu keiner Zeit beobachtete der Betreiber eine Einbuße in der produzierten Gasmenge durch die Schaumbildung. Die Fütterungsmengen konnten über diesen Zeitraum nahezu konstant gehalten werden. Abschließend konnte für diesen Betrieb kein Erfolg der Repoweringmaßnahme belegt werden. Das neue Rührwerk hatte keinen Einfluss auf die Schaumvermeidung im Fermenter und es konnte kein Einsparpotential realisiert werden.

Weitere Maßnahmen zur Schaumbekämpfung

Nachdem das Rührwerksrepowering keinen entscheidenden Einfluss auf die Schaumverhinderung hatte und auch die Prozessparameter keine Auffälligkeiten zeigten, wurden verschiedene Biogasexperten zum Thema befragt und mit dem Betreiber folgendes Vorgehen festgelegt:

- Temperaturerhöhung im Fermenter,
- Absenkung des Füllstandes,
- Verringerung der Raumbelastung.

Temperaturerhöhung im Fermenter

Verschiedene Experten berichteten, dass sich Schaumbildung mit einer Temperaturerhöhung um 3 °C bekämpfen lassen könnte. Die Theorie besagt, dass bei einer schnellen Erhöhung in diesem Temperaturbereich andere Mikroorganismenstämme angeregt werden und die Schaumbildung so minimiert werden kann. Der Fermenter war lediglich mit einem einzigen Thermometer ausgestattet. Vergleichsmessungen zeigten jedoch, dass die Temperatur nicht korrekt angezeigt wurde. Der Fermenter wurde mit knapp 50 °C betrieben und nicht mit den vom Betreiber genannten 52,5 °C. Daraufhin wurde die Temperatur jeden Tag um 1 °C angehoben, bis ein Wert um 53 °C erreicht war. Diese erhöhte Temperatur wurde etwa drei Wochen gehalten. Während dieser Zeit konnte kein signifikanter Rückgang der Schaumbildung erkannt werden. Nach Abschluss des Temperaturversuches wurde die Messeinrichtung ausgetauscht und die Temperatur dauerhaft auf 53 °C eingestellt.

Absenkung des Füllstandes

Um eine sofortige Lösung für das Problem herbeizuführen, wurde in gemeinsamer Rücksprache mit dem Anlagenhersteller ein Absenken des freien Überlaufes durchgeführt. Es wurde erwartet, dass sich dadurch der Füllstand im Fermenter senkt und sich das Gärsubstrat nicht bis zu den Unterzügen ausdehnen kann. Hierzu wurde eine auf den Stützen aufgesetzte Muffe um ca. 10 cm nach unten versetzt. Es zeigte sich jedoch sehr schnell, dass das hinzugewonnene Volumen nicht ausreichte um die Ausdehnung des Gärsubstrates zu kompensieren. Erschwerend kam hinzu, dass das zähflüssige Substrat weiterhin nur sehr schwerfällig durch den Überlauf floss. Der Betreiber berichtete, dass dieser zeitweise blockiert war und nicht funktionierte. Dem Anlagenbetreiber wurde angeraten, eine neue Pumpe zu beschaffen, mit der das zähe Gärmaterial verlässlich gepumpt und der Füllstand auf das notwendige Niveau abgesenkt werden könnte. Dieser Umbau wurde erst im Jahr 2014 realisiert.

Verringerung der Raumbelastung

Die Zähflüssigkeit des Substrats wurde von den Experten unter anderem auf die hohe Raumbelastung im Fermenter zurückgeführt. Es wurde daher vorgeschlagen, durch Rezirkulation eine Verringerung der Raumbelastung von 5,9 auf ca. 3 kg oTS m⁻³d⁻¹ durchzuführen. Nach der Berechnung sollten in einem ersten Schritt 300 m³ Substrat aus dem Nachgärer in den Fermenter gepumpt werden, um damit eine Verflüssigung zu erreichen. Diese Maßnahme wurde an einem Tag über sechs Stunden durchgeführt. Am Abend zeigte der Fermenter eine starke Schaumbildung, die das bekannte Maß übertraf. Um die Schaumbildung sofort zu verringern, wurde dem Fermenter Pflanzenöl zugeführt. Diese Maßnahme, welche von zahlreichen Experten angeraten wird (MOELLER et al., 2012), zeigte sehr schnell Wirkung, musste jedoch in sehr kurzen Zeitabständen, auch über mehrere Tage, wiederholt werden. Der Betreiber berichtete, dass häufige, reduzierte Zugaben von Pflanzenöl bessere Ergebnisse zeigten als eine einzige hohe Gabe. Aufgrund dieser negativen Erfahrung wurde im Folgenden auf ein weiteres Verdünnen des Fermenterinhaltens verzichtet.

Rücksprache mit Schaumexperten

Nachdem die bisherigen Maßnahmen keinen Erfolg zeigten, wurde Kontakt aufgenommen zur Forschungsgruppe Bioprozesstechnik von Prof. Dr. Zehndorf am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (UFZ). Dort waren von Frau Dr. Lucie Moeller erste Studien zur Schaumbildung an Biogasanlagen durchgeführt worden. Gemeinsam wurden iterative Schritte unternommen, um das Problem zu untersuchen. Diese werden im Folgenden dargestellt. Des Weiteren wurde ein Hersteller von Prozessadditiven zur Schaumbekämpfung befragt und dessen Vorschlag realisiert.

Untersuchung der Inputsubstrate

Die ersten Gespräche ergaben, dass man bei der weiteren Analyse die Inputsubstrate in den Vordergrund stellen sollte. In einem ersten Schritt wurde die zugelierte Gülle analysiert und Informationen über die Fütterung der Tiere wurden in diesen Beständen eingeholt (Tabelle 3). Es wurde vermutet, dass aufgrund des sehr hohen Kraftfutteranteils ein Kohlenhydratüberschuss in der Gülle vorliegen könnte, welcher im Anschluss in der Biogasanlage zur Schaumbildung führt. Verschiedene Experten aus dem Fütterungsbe-reich wurden hierzu befragt. Die Proben aus dem Fermenter und der Rohgülle konnten jedoch mit der vorliegenden Methode (Labor der Landesanstalt für landwirtschaftliche Chemie, Uni Hohenheim) nicht untersucht werden. Die Be-

Tabelle 3: Futtermitteln der Gülle - Zulieferbetriebe

Zulieferbetrieb	Tierart	Fütteration	Kraftfuttermitteln
1	Mast-bullen	50 % Maissilage + 50 % Grassilage	80 % Getreide (Weizen & Gerste) + 20 % Rapsschrot (2 kg pro Tag)
2	Mast-bullen	100 % Maissilage	80 % Getreide (Weizen & Gerste) + 20 % Sojaschrot (2 kg pro Tag)
3	Milch-vieh mit Aufzucht	70 % Maissilage + 30 % Grassilage	30 % Getreide (Weizen & Gerste) + 70 % Rapsschrot (7 kg pro Tag)

fragung der Betriebsleiter ergab, dass vor allem im Milchviehbetrieb verstärkt Getreide im Kraftfutter verwendet wurde (Tabelle 3). Aufgrund der nicht durchführbaren Analyse konnten jedoch keine weiteren Rückschlüsse gezogen werden. Die auf dem Betrieb verwendeten Silagen wurden in einer Futtermittelanalyse nach Weender und van Soest untersucht (Tabelle 4). Die Ergebnisse zeigten vor allem in der Maissilage einen sehr hohen Trockensubstanzgehalt von nahezu 40 %. Die Qualität der Silage unterschied sich hingegen nur sehr geringfügig von Silagen, die an anderen Biogasanlagen oder zur Tierfütterung verwendet werden. Dies wurde von einem externen Labor zusätzlich durch eine Analyse der Futtermittelqualität zweier Maissilagen aus verschiedenen Erntejahren bestätigt. Die in der Silage gemessenen Säuren bewegten sich auf einem üblichen Niveau. Sehr auffällig waren die gemessenen Hefen in einer der Silagen, mit einem Wert von 180.000 KBE/g FM. Der Anteil an Schimmelpilzen bewegte sich auf einem Niveau < 100 KBE/g FM. Analysen, durchgeführt am UFZ in den Jahren 2013-2014, zeigen bei den Eluaten von Silagen vor allem Unterschiede bei den Laktatgehalten, die in Eluaten von schäumender Maissilage mit 5-6 g/L erheblich höher waren als in denen von nicht-schäumenden Silagen (3-4 g/L Laktat). Die Versorgung mit Spurenelementen war bis auf Calcium nur leicht unterschiedlich. Die von den Laboren ermittelte Qualität der Silagen scheint auf den ersten Blick nicht die Ursache für die Schaumbildung zu sein. Keiner der genannten Parameter gibt einen Hinweis auf Veränderungen abweichend zu Standardwerten. Die Silagen in den Fahrtilen der Biogasanlage zeigten rein äußerlich eine gute Qualität und nur eine geringfügige Schimmelbildung an den Rändern. Die Anschnittflächen waren aufgrund der Fermentergeometrie sehr groß. Es war zu beobachten, dass die Maissilage an verschiedenen Stellen eine eindeutige Wärmeentwicklung zeigte.

Tabelle 4: Analyseergebnisse der LA Chemie

		03.04.2012	03.04.2012	26.11.2012	26.11.2012
		Maissilage	Grassilage	Maissilage	Grassilage
In der Original-Substanz					
Trockensubstanz	g/kg	407	354	406	300
Rohasche (OS)	g/kg	14	15	14	40
Rohprotein (OS)	g/kg	29	28	32	44
Rohfett (OS)	g/kg	12	11	11	10
Rohfaser (OS)	g/kg	76	72	81	92
ADFom (OS)	g/kg	82	77	86	108
aNDFom (OS)	g/kg	153	141	169	167
Rohzucker	g/kg	-	-	-	5
Rohstärke (OS)	g/kg	147	112	139	-
Gasbildung (HFT*)	mL/200 mg	-	-	-	10,2
ELOS** (OS)	g/kg	300	245	294	10,2
In der Trockensubstanz					
Rohasche (TS)	g/kg	34	42	34	134
Rohprotein (TS)	g/kg	71	79	79	148
Rohfett (TS)	g/kg	29	31	27	34
Rohfaser (TS)	g/kg	187	203	200	307
ADFom (TS)	g/kg	201	218	212	360
aNDFom (TS)	g/kg	376	398	416	557
Rohzucker	g/kg	-	-	-	15
Rohstärke (TS)	g/kg	361	316	342	-
Gasbildung (HFT)	mL/200 mg	-	-	-	34,0
ELOS** (TS)	g/kg	737	692	724	-
Umsetzbare Energie (OS)					
Umsetzbare Energie (OS)	MJ/kg	4,6	3,9	4,5	2,5
Nettoenergielaktation NEL (OS)	MJ/kg	2,8	2,4	2,7	1,5
Umsetzbare Energie ME (TS)					
Umsetzbare Energie ME (TS)	MJ/kg	11,4	11,1	11,1	8,4
Nettoenergielaktation NEL (TS)	MJ/kg	6,9	6,7	6,7	4,9
Unabbaubares Rohprotein					
Unabbaubares Rohprotein	g/kg	-	-	-	15
Unabgebautes Rohprotein (UDP)					
Unabgebautes Rohprotein (UDP)	g/kg	18	20	20	22
Nutzbares Rohprotein (nXP)					
Nutzbares Rohprotein (nXP)	g/kg	135	134	134	114
Ruminale N-Bilanz (RNB)					
Ruminale N-Bilanz (RNB)	g/kg	-10	-9	-9	5
Strukturwert (SW)					
Strukturwert (SW)	g/kg	1,7	1,8	1,9	3,6

*HFT: Hohenheimer Fermentationstest, **ELOS: Enzymlösliche, organische Substanz

Untersuchung des Fermentersubstrates und des Schaumes

Parallel zu den Untersuchungen der Inputstoffe wurden auch das Gärsubstrat und der Schaumanteil auf prozessbiologische Parameter sowie Spurenelemente am UFZ analysiert (Tabelle 5). Der pH-Wert lag im Schaumanteil (7,9) etwas niedriger als im Gärmaterial (8,2). Der FOS/TAC-Wert zeigte stabile Gärbedingungen in beiden Substraten. Der Trockensubstanzgehalt lag im Gärmaterial mit 9,9 % um 2,6 % höher als im Schaumanteil. Weiterhin auffällig war, dass die Anteile von Acetat und Propionat im Gärmaterial höher lagen als im Schaumanteil. Alle weiteren Parameter zeigten keine auffälligen Differenzen. Aus den vorliegenden Daten konnten keine Schlussfolgerungen getroffen werden, aus denen auf die Schaumbildung geschlossen werden konnte.

Verzicht von Gülle im Fermenter

Verschiedene Experten vermuteten die Ursache der Schaumbildung in der zugelieferten Gülle aus fünf verschiedenen landwirtschaftlichen Betrieben mit Fütterung von Kraftfutter oder der Verwendung von Reinigungsmitteln. Um dies auszuschließen, wurde über einen Zeitraum von vier Wochen auf Gülle im Fermenter verzichtet und die angelieferte Gülle dem Nächsgärer zugeführt. Um die Fließfähigkeit im Fermenter zu erhöhen, wurde in dieser Zeit kontinuierlich Wasser (5 m³/Tag) zugegeben. Der Versuch zeigte über die gesamte Zeit keine Änderung im Bläh- und Schaumverhalten des Gärsubstrates. Nach dem Versuch wurde die Gülle wie zuvor dem Fermenter zugeführt.

Enzymeinsatz

Ein Einsatz von Enzymen wurde ebenfalls von mehreren Experten als mögliche Lösung genannt. Aus diesem Grund wurde in Absprache mit dem Betreiber und dem Hersteller der Enzyme ein Einsatz von Enzymen vorbereitet und durchgeführt. Die Dauer des Enzymeinsatzes betrug acht Wochen. Der Betreiber berichtete, dass zu Beginn des Enzymeinsatzes keine Veränderung zu beobachten war. Der Fermenter blähte immer noch und schäumte weiterhin. Nach etwa vier Wochen berichtete der Betreiber, dass das Fermentersubstrat seiner Meinung nach etwas flüssiger wirkte, da das Gärsubstrat schneller als zuvor über den Überlauf in den Nachgärer floss. Auf die Schaumbildung hatte der Enzymeinsatz offenbar keine Auswirkungen. Der Versuch wurde ohne sichtbaren Einfluss auf die Schaumbildung nach Ende der besprochenen Laufzeit abgeschlossen.

Tabelle 5: Analyseergebnisse des Gärsubstrates und des Schaums (Quelle: UFZ)

Bezeichnung	Einheit	Gärmaterial 08.01.2013	Schaum 08.01.2013
pH		8,1	7,9
FOS		2884	3741
TAC		13064	14148
FOS/TAC		0,22	0,26
TS	%	9,90	7,27
oTS	%	83,00	75,70
NH4-N	g/L	1,350	1,349
TC	g/L	29,30	28,80
TN	g/L	4,46	4,41
IC	g/L	2,39	2,49
TOC	g/L	26,90	26,3
Acetat	mg/L	410	194
Propionat	mg/L	55,30	26
Butyrat	mg/L	0	0
Ca	mg/L	179	184
Fe	mg/L	11,10	7,76
K	mg/L	4400	4540
Mg	mg/L	177	150
Mn	mg/L	0,64	0,60
P	mg/L	17,20	19,60
S	mg/L	80,80	75,20

Laborversuch zur Schaumbildung

Laut den Experten vom UFZ kann die Schaumwirkung von Substraten mit einem einfachen Test geprüft werden. Dieser Test wurde an einer 2-Liter-Laborforschungsanlage der Universität Hohenheim durchgeführt, um erste Erfahrungen zu sammeln. Das zu testende Inputsubstrat des Betriebes (2 Vol. % = 32 g) wird dabei in ein gesiebtes (5 mm) Fermentersubstrat (1.600 mL) einer nicht von Schaumbildung betroffenen Biogasanlage mit nahezu ähnlichen Prozessbedingungen gegeben. Das Gemisch wurde in einem Wasserbad über die gesamte Versuchszeit auf einer konstanten Temperatur von 52,5 °C gehalten. Die Temperatur sollte den Bedingungen in der schäumenden Biogasanlage entsprechen. Die zu testenden Substrate wurden frisch entnommen und der Versuch am selben Tag gestartet. Die Experten empfahlen eine Mindestdauer von 24 h, in der fortlaufend beobachtet werden sollte. Alle auf dem Betrieb eingesetzten Inputsubstrate (Maissilage,



Grassilage, Gülle von fünf verschiedenen Betrieben) sowie das Fermentersubstrat der schäumenden Anlage wurden in den Versuch mit einbezogen. In Ergänzung dazu wurde das Fermentersubstrat von der nicht von Schaumbildung betroffenen Referenzanlage als Kontrolle verwendet. Bereits nach 3,5 Stunden Versuchsdauer zeigte sich bei der Grassilage eine starke Schaumbildung am Rand des Glases. Auch bei der Maissilage war zu diesem Zeitpunkt eine deutliche Schaumbildung sichtbar. Alle anderen Substrate wiesen keine Auffälligkeiten auf. Neun Stunden nach Versuchsbeginn (Abbildung 2) verdeutlichte sich dieser Trend erneut. Die Grassilage schäumte bis zum Deckelrand und füllte das gesamte Volumen mit einem dichten Schaum. Das Schaumniveau der Maissilage stieg ebenfalls nochmal deutlich an, wies aber ein insgesamt geringeres Volumen als die Grassilage auf. Die Gülle (Versuchssubstrat 5) und das Fermentersubstrat der schäumenden Biogasanlage (Versuchssubstrat 9) bildeten eine geringe Menge sehr kleiner Schaumblasen. Keines der anderen im Versuch verwendeten Substrate bildete Schaum. Bis zum Versuchsende zeigte sich keine weitere Veränderung. Dieser Versuch lässt vermuten, dass die speziell an dieser Biogasanlage verwendeten Inputstoffe Grassilage und Maissilage zur Entstehung von Schaum führen.

Das „Ende“ des Schaums

Wie dieser Beitrag zeigt, ist die Bekämpfung von Schaum an Biogasanlagen ein immer noch unterschätztes Thema. Alle bisher bekannten, von Experten empfohlenen Maßnahmen führten bei dieser Biogasanlage zu keiner Lösung. Der Betreiber musste nach wie vor sehr viel rühren, um den Schaum zu bekämpfen. Dies führte zu erheblichen Betriebskosten. Im Jahr 2014 verbaute der Betreiber eine Exzentrerschneckenpumpe und konnte damit den Füllstand soweit absenken, dass sich das Substrat im Fermenter ungehindert ausdehnen konnte und zu keinen weiteren technischen Problemen führte. Diese Maßnahme verschaffte dem Betreiber mehr Sicherheit. Dennoch blieb der Rührwerkseinsatz auf hohem Niveau. Nach der Durchführung der Schaumtests wurde dem Betreiber angeraten, bei der Silageerzeugung darauf zu achten, dass der Trockensubstanzgehalt < 35 % beträgt und auch sonst die übrigen Qualitätskriterien eingehalten werden. Die Fütterung des Fermenters mit „neuen“ Silagen, die im Jahr 2013 erzeugt wurden, führte letztendlich zu einer deutlichen Veränderung der Bläh- und Schaumwirkung. Der Betreiber berichtete, dass seit der Verwendung dieser Substrate das Aufblähen und die Schaumbildung reduziert wurden und sich

schließlich nahezu einstellten. Der Fermenterinhalt war wieder sehr fließfähig und es konnte auf das zusätzliche Absenken des Füllstandes verzichtet werden. Dem Betreiber ist es seit dieser Zeit auch möglich, die Rührwerke mit geringerer Laufzeit und Häufigkeit zu betreiben. Dies führt zu einer großen Einsparung an Betriebskosten. Auch die Betriebssicherheit ist seither erheblich gestiegen, berichtete der Betreiber. Erneute Versuche zur Schaumbildung mit den Substraten aus den Jahren 2013 und 2014 zeigten keine Neigung zur Schaumbildung.

Untersuchungen zur Schaumbildung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Basierend auf den Erfahrungen aus der Begleitung der Agarenergie Andelbach GmbH & Co KG wurde eine weitere Studie im Rahmen einer Masterarbeit (WISSMANN, 2014) durchgeführt. Ziel dieser Arbeit war es, mittels einer explorativen, empirischen Studie die verfahrenstechnischen, biologischen und betriebstechnischen Hintergründe der übermäßigen Schaumbildung in Biogasanlagen aufzudecken sowie die technischen und wirtschaftlichen Schäden abzuschätzen. Ein zwischenzeitlich am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig entwickelter **LEIPZIGER SCHAUMTESTER** wurde eingesetzt, um die Neigung verschiedener Substrate zur Schaumbildung sowie die Eignung des Schaumtesters selbst zu überprüfen. Zur Klärung der Schaumbildungsproblematik in Biogasanlagen wurden sieben Experteninterviews durchgeführt. Diese sollten dazu dienen, Erfahrungen und Beobachtungen aus der Praxis aufzuzeigen. Die Experten gaben an, dass im Durchschnitt 10 % aller ihnen bekannten Biogasanlagen Schaumprobleme kennen. Als Hauptverursacher der Schaumbildung gelten unter den Experten Proteine. Das von den Experten am häufigsten empfohlene Hilfsmittel zur Schaumbekämpfung ist Rapsöl. Als die am häufigsten aufgetretenen Schäden wurden verschmutzte und dadurch blockierte Gasleitungen genannt. Aufbauend auf den Experteninterviews wurde eine schriftliche Umfrage unter den Biogasanlagenbetreibern in Baden-Württemberg durchgeführt. Diese führte allerdings aufgrund des geringen Rücklaufs zu keinen aussagekräftigen Ergebnissen. Ergänzend zu den empirischen Studien fanden Versuchsreihen mit dem **LEIPZIGER SCHAUMTESTER** statt. In diesem wurden, mit den zur Verfügung stehenden Testsubstraten, Vergleichsschäume in unterschiedlichen Gärmaterialien erzeugt und beschrieben. Eine Überprüfung der Schaumneigung der aus einer Biogasanlage der Agarenergie Andelbach GmbH & Co KG stammenden Silagen sowie von Standard-Testsubstraten wurde durchgeführt und die Wirkung von fünf Antischaummitteln getestet. Der **LEIPZIGER SCHAUMTESTER** zeigte die Schaumneigung kritischer Substrate sowie die potenzielle Schaumhemmung von Hilfsmitteln zur Schaumbekämpfung an. Der Schaumtester ist ein geeignetes Hilfsmittel zur Überprüfung kritischer Substrate, mit welchem den Biogasanlagenbetreibern eine kostengünstige Entscheidungshilfe zur Verfügung steht.

Fazit

Mit Beginn der Schaumproblematik in der Biogasanlage der Agarenergie Andelbach GmbH & Co KG war die persönliche Situation des Betreibers sehr angespannt. Er berichtete, dass er aufgrund des starken Aufblähens und Schäumens ständig beunruhigt war und in den Nächten nur selten zur Ruhe kam. Er befürchtete technische Störungen oder Beschädigungen an der Anlage, die zu einem Ausfall der Produktion führen könnten. Die persönliche Belastung war sehr hoch, da er in der Verantwortung gegenüber seinen Gesellschaftern und auch seinem Geldgeber stand. Das Schaumereignis hielt auf diesem Betrieb für etwa drei Jahre dauerhaft an. Dem umsichtigen Handeln und dem hohen persönlichen Einsatz des Betreibers ist es zuzuschreiben, dass es in dieser Zeit zu keinerlei technischen Störungen oder Ausfällen in der Biogasproduktion kam.

Die Versuche zur Schaumbildung zeigten sehr zuverlässig eine Neigung zur Schaumbildung bei den Inputsubstraten dieses Betriebes. Aufgrund der sehr großen Lagermenge an Mais- und Grassilage aus den Jahren vor 2013 konnte jedoch auf einen Einsatz dieser Substrate nicht verzichtet werden. Auch der Austausch eines Teils dieser Substrate war aus wirtschaftlichen und logistischen Gründen nicht möglich, so dass abgewartet werden musste, bis die Silage aufgebraucht war. Eine abschließende Erkenntnis über den Inhaltsstoff in den Silagen, die die Schaumbildung verursachten, ist noch nicht gefunden. Aus heutiger Sicht kann nur vermutet werden, dass die Schaumbildung an der Biogasanlage der Agarenergie Andelbach GmbH & Co KG auf die Inputsubstrate aus Mais und Gras zurückzuführen ist. Ein wissenschaftlicher Beweis steht noch aus. Das Beispiel dieses Betriebes zeigt sehr eindrücklich die Probleme mit Schaumbildung an Biogasanlagen. Mit großem Aufwand muss die Ursache erforscht werden, da es bislang keine Standardlösungen gibt. Der Betrieb wurde auf Kosten der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie sowie des UFZ begleitet. Die Probenfrequenz ist in diesem Beispiel noch als sehr gering anzusehen. Weitere Forschungsarbeiten sollten sich zukünftig intensiv mit der Begleitung von schäumenden Biogasanlagen, auch über längere Zeiträume hinweg, beschäftigen. Vieles in diesem Forschungsgebiet ist noch unbekannt und wird sich über die kommenden Jahre entwickeln müssen. Zusätzlich zu Untersuchungen im Labor ist es zwingend erforderlich, Praxisbetriebe mit Schaumproblemen in die Forschungsarbeiten mit einzubeziehen. Die ersten Erfolge in der Schaumforschung an Biogasanlagen sind beachtlich und bieten bereits heute den Betreibern die Möglichkeit, Problemlösungsansätze zu finden.

Referenzen

- Grafetstetter, J.; Schüle, R. (2013): Rührwerksrepowering - Auswirkung optimierter Rührtechnik auf Eigenstromverbrauch und Rührqualität bei Biogasanlagen. Projektarbeit, Universität Hohenheim.
- Moeller, L.; Görsch, K.; Müller, R.A.; Zehndorf, A. (2012): Bildung von Schaum in Biogasanlagen und seine Bekämpfung – Erfahrungen aus der Praxis. In: Landtechnik. 67/2, S. 110-113.
- Wißmann, D. (2014): Untersuchungen zur Schaumbildung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Masterarbeit, Universität Hohenheim.



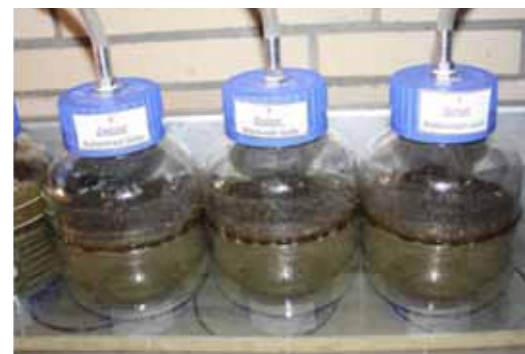
Substrat 1: Fermentersubstrat einer nicht schäumenden Anlage. Diese zeigte auch zu diesem späteren Zeitpunkt keine Reaktion.

Substrat 2: Bei der Grassilage zeigte sich eine massive Schaumbildung, die bis zum Deckel des Versuchsreaktors reichte.

Substrat 3: Die Maissilage zeigte auch eine deutliche Steigerung in der Schaumbildung. Das Ausmaß war jedoch nicht so groß wie bei der Grassilage.



Nahaufnahme des Schaumtests mit Grassilage. Sehr deutlich ist eine Schaumbildung zu erkennen.



Die Schaumversuche mit der Gülle aus den Zulieferbetrieben (Substrat 4-6) zeigten zu diesem Zeitpunkt keine Schaumbildung.



Nahaufnahme des Schaumtests mit der Maissilage.



Die Schaumtests mit der Gülle aus den Zulieferbetrieben (Substrat 7+8) sowie das Fermentersubstrat der schäumenden Biogasanlage zeigten zu diesem Zeitpunkt keine Schaumbildung.

Abbildung 3: Versuch zur Schaumbildung in einer 2-Liter-Versuchsanlage. Die Aufnahmen entstanden 9 h nach Start des Versuches.

Backhefe im Fermenter



Patrick Pfeffer (38) ist Geschäftsführender Gesellschafter der Bioenergie Bayern GmbH & Co KG, die die Abfallvergärungsanlage in Schwabach betreibt. Die Biogasanlage Schwabach befindet sich ca. 20 km südlich von Nürnberg. Sie wurde als eine der ersten Anlagen nach dem Bio-Stab-Verfahren in den Jahren 1995-1997 mit dem Zweck der Vergärung kommunal getrennt erfasster Bioabfälle errichtet und im Jahr 1997 in Betrieb genommen. Ein ausführliches Portrait der Anlage finden Sie auf Seite 65.

Das Interview führte Lucie Moeller.

Aufgrund der sinkenden Bioabfallpreise 2009, die eine Verarbeitung der kommunalen Bioabfälle trotz Beimischung anderer Co-Fermente für die Kommune Schwabach zunehmend unwirtschaftlich machte, beschlossen die Stadtväter die Anlage stillzulegen. Die Firma Bioenergie-Bayern gründete sich im Jahr 2010, um die Biogasanlage mit verändertem Einsatzstoffkonzept und einigen Optimierungen des technischen Anlagenkonzeptes als privatwirtschaftlich geführten Entsorgungsbetrieb weiterzuführen.

Die Anlage befindet sich mitten in der Stadt. Dies ermöglicht einerseits die Versorgung eines Nahwärmenetzes mit 180 Haushalten, stellt aber auch hohe Anforderungen an den Umgang mit den angelieferten Abfällen, die Abfuhr von Gärresten und Störstoffen sowie die Behandlung der permanent aus der Annahmehalle für Bioabfälle abgesaugten Luft in einem Biofilter.

Welche Erfahrungen haben Sie auf Ihrer Biogasanlage mit Schaumbildung gemacht?

Patrick Pfeffer: Schaumbildung begleitet uns eigentlich von Anfang an. Die Probleme, die in anderen Anlagen nur als marginal betrachtet werden, sind in unserem Fall schwerwiegender, was der besonderen Form der beiden Fermenter geschuldet ist. Durch die Verengung im oberen Bereich hat der Schaum auf der Oberfläche der Gärflüssigkeit wenig Raum nach oben und es kommt schneller zum Überlaufen der Fermenter. Aus diesem Grund sind wir dem Aufruf in der Zeitschrift Biogas Journal gefolgt und haben im Rahmen des Projektes Optgas mit dem Deutschen Geoforschungszentrum (GFZ) und dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) eng zusammengearbeitet.

Wie sah diese Kooperation aus?

Patrick Pfeffer: Gemeinsam mit den Wissenschaftlern von GFZ und UFZ sind wir den Ursachen der Schaumbildung auf den Grund gegangen. Die Betriebsdaten wurden ausgewertet, Proben wurden analysiert und eine zweiwöchige Intensivbeobachtung wurde vorgenommen.

Welche Ergebnisse brachten diese Untersuchungen?

Patrick Pfeffer: Im Ergebnis wurde festgestellt, dass sehr häufig die Substrate bei der Schaumbildung eine Rolle spielen. Einige Substrate konnten wir selbst bereits vorher als Schaum bildend identifizieren. Dazu gehören das Spülwasser aus einer Molkerei und Milchfett. Diese Substrate verursachte wiederkehrend Schaumbildung und konnte effektiv und problemlos bekämpft werden, indem drei Liter Pflanzenöl mit Wasser im Gasraum der Bioreaktoren versprüht wurden. Die Schaumbildung fiel aus, wenn Kieselgur aus einer Brauerei und altes Brot mit dem Molkereiabwasser vergoren wurde. Chemische Analysen am UFZ zeigten, dass der Schaum eine sechsfach höhere Konzentration von Ölsäure beinhaltete als das Gärmaterial, aus dem der Schaum entstand. Das senkte die Oberflächenspannung und ermöglichte die Bildung von Schaumblasen.

Welche weiteren Substrate haben zur Schaumbildung geführt?

Patrick Pfeffer: Wir bekommen von einem Kunden immer wieder auf Paletten gelagerte Backhefe. Im Normalfall geben wir diese langsam und nur in geringen Mengen zu. Einmal wurden aber zwei komplette Paletten verpackte Backhefe verarbeitet. Das war dann auch die Ursache eines Schäumens. Ein anderes Mal ist dieses Material in einem

Schüttgutcontainer angeliefert worden, da der Kunde offensichtlich seinen Entsorgungsprozess umgestellt hat. Wir hatten nun die gesamte Woche sehr stark mit Schaum zu kämpfen, teilweise schäumten sogar die Vorgruben und vor allem die neu errichtete Hygienisierung über. Im Fermenter war aber offensichtlich alles bereits „ausgeschäumt“, dort hatten wir diesmal keine Probleme. In zwei anderen Fällen wurden Getreidesiebabfälle als Schaursache identifiziert. Oft brachten einige Chargen von Fettabscheiderinhalten den Biogasreaktor zum Überschäumen. Die genauen Gründe kennen wir nicht. Gelegentlich bringen die Fettabscheiderinhalte höhere AOX-Konzentrationen mit sich, anscheinend verursacht durch gechlorte Reinigungsmittel. Chemische Analysen am UFZ zeigten erhöhte Konzentrationen von Aluminium und Zink in den Proben dieses Substrates. Die Fettabscheiderinhalte bereiten unserer Beobachtung nach allerdings nur dann Probleme, wenn zu viel davon ohne Beimischung anderer Stoffe eingesetzt wird. Der entstandene Schaum ist sehr instabil und kann gut mit Antischaummitteln bekämpft werden. Wenn die Probleme allerdings nachts kommen, kann es zum Überschäumen der Fermenter kommen. Der Schaum läuft dann an den Fermenteraußenwänden runter und muss in die Auffangbecken abgespült werden. Auch bei der Zugabe von einer Palette Stärke kam es zur heftigen Schaumbildung bereits in der Vorgrube. Durch behutsame Zudosierung dieses Substrates konnte der Schaumbildung in Fermentern vorgebeugt werden. Außerdem waren Süßwaren wie schokolierete Erdnüsse und Hustenbonbons für eine stürmische Gärung verantwortlich, die mit Schaum verbunden war.

Haben Sie außer den Substraten noch andere Effekte beobachtet, die Ursache für eine starke Schaumbildung waren?

Patrick Pfeffer: Einmal konnten wir Schaumbildung infolge eines Temperaturanstiegs beobachten. Bedingt durch Anforderungen des Nahwärmenetzes und einen technischen Fehler einer Steuereinheit haben sich beide Fermenter binnen weniger Tage von 40 °C auf 43 °C erhitzt. Der Schaum ließ nicht lange auf sich warten. Außerdem war die Neigung zur Schaumbildung erheblich höher, wenn die Durchmischung in den Fermentern nicht funktionierte. Das Rühren des Fermenterinhalts findet durch eine kontinuierliche Gaseinpressung statt, da aufgrund der Baustatik eine Verwendung von

Rührwerken ausgeschlossen ist. Die Gaseinpressung wird durch vier Lanzen realisiert, deren Austrittsköpfe in geringer Höhe über der Reaktorsole eingehängt sind. Zur Einpressung wird das Biogas aus dem Reaktorkopf verwendet. Nach einer Vorreinigung durch einen Keramikfilter wird es in einem Gaskompressor komprimiert und über einen Flüssigkeitsabscheider und eine Druckleitung in die einzelnen Lanzen gefördert. Wenn diese Gaseinpressung defekt war, kam es vermutlich bei Beschickung von leicht abbaubaren Substraten, zum Beispiel Bonbons, zur stürmischen Gärung, konzentriert an einer Stelle. Das hatte eine Überlastung der Mikrobiologie und Schaumbildung zur Folge.

Welche Auswirkungen hatte die Schaumbildung auf die Wirtschaftlichkeit Ihrer Biogasanlage?

Wirtschaftliche Auswirkungen hat ein solches Schaumerignis wegen des erhöhten Personaleinsatzes, der benötigten Entschäumeröle und bei uns insbesondere deswegen, weil wir dann sehr viel Wasser für die Spülung der Schaumfallen benötigen, diese teilweise bis zu zwei Stunden arbeiten und dabei eine Gesamtmenge von bis zu 40 m³ Wasser verbrauchen. Da unser Wasser in die kommunale Kläranlage abgeleitet wird, belasten uns diese höheren Gebühren. Aber auch bei einer Ausbringung wäre dies ein Problem, da in unserer Region die Ausbringkosten bei ca. 6 €/m³ liegen. Je nach Länge und Intensität müssen wir somit durchaus Kosten in einer Höhe von ca. 500 bis 600 € pro Ereignis kalkulieren.

Was haben Sie aus den vielen Schaumerignissen für die Zukunft gelernt?

Patrick Pfeffer: Die Durchmischung muss funktionieren, damit die vielen unterschiedlichen Substrate gut vermischt werden können. Dann ist es notwendig, einen breiteren Substratmix zu haben, in dem Fettabscheiderinhalte nur einen niedrigen Anteil haben. Und drittens ist es notwendig, sich mit dem Einsatzstoffmanagement auseinanderzusetzen. Substrate, die leicht abbaubar sind, Proteine oder Schleimstoffe beinhalten, müssen in kleineren Gaben über längere Zeit zudosiert werden.

Danke für das Interview.



Alptraum Schaum

Ursachen, Erscheinungsformen und Bekämpfungsstrategien in der Biogas-Praxis

Harald Lindorfer, Schaumann Bioenergy

Foto: EWM GmbH

Während viele Prozessstörungen in Biogasanlagen inzwischen wirkungsvoll bekämpft und präventiv vermieden werden können, ist das spontane Auftreten von übermäßiger Schaumbildung oft nicht vorhersehbar und teilweise sehr schwer zu bekämpfen. Diese Unberechenbarkeit ist eine Folge aus der geringen Datengrundlage über die Ursachen der Schaumbildung in Biogasfermentern, die sich wesentlich von den Ursachen in aeroben Systemen wie Kläranlagen oder fermentativen Prozessen in der Lebensmittelindustrie unterscheiden. Dementsprechend wirken Bekämpfungsstrategien aus den genannten Bereichen oft nicht in Biogasfermentern. Eine systematische Erfassung und Bearbeitung des Problems ist notwendig, um die teilweise massiven technischen Schäden und finanziellen Einbußen in Zukunft vermeiden zu können. Die Auswertung von Prozessenerfahrungen aus über 3000 Biogasanlagen gibt Anhaltspunkte zu den Ursachen der Schaumbildung und zu erfolgsversprechenden Strategien zur Reduzierung des Problems.

Im Rahmen der Betreuung von Biogaskunden wird man zwangsläufig ab und zu mit dem Problem verstärkter Schaumbildung konfrontiert. Während allerdings eine Studie in Dänemark (n = 16) über 90 % von Schaum betroffene Anlagen gefunden hat (KOUGIAS, 2014), sieht die Praxis in Deutschland ganz anders aus. Von 3100 besuchten Biogasanlagen waren nur 327 Biogasanlagen von Schaumproblemen betroffen. Eine konstante Schaumschicht mit einer Mächtigkeit von weniger als 0,4 m wurde dabei nicht als „Problemschaum“ klassifiziert.

Da es in der Praxis immer wieder zu fatalen Verwechslungen zwischen Schaumbildung und dem wesentlich gefährlicheren Aufblähen des Fermenterinhalt („Hefeteigeffekt“) kommt, muss zunächst der Begriff „Schaum“ geklärt werden.

Was ist Schaum?

Laut einer Definition von MOELLER et al. (2013) ist „Schaum im Allgemeinen eine grobe Dispersion eines Gases in einer Flüssigkeit, wobei der größte Teil aus Gas besteht.“

Die Wände (Lamellen) zwischen den Gasblasen werden meist aus grenzflächenaktiven Substanzen (z. B. Tensiden)

gebildet, die oft auch als „schaumaktive Substanzen“ bezeichnet werden. Die Zwischenräume zwischen den Gasblasen sind mit mehr oder weniger viel Flüssigkeit gefüllt. Die Größe der Blasen und die Lebensdauer werden nicht, wie von anderen Autoren beschrieben, ausschließlich von der Art der oberflächenaktiven Substanzen, sondern auch von der in der Flüssigkeit vorherrschenden Viskosität (Aufstiegsgeschwindigkeit der Gasblasen) und Alkalinität, die die Oberflächenspannung direkt beeinflusst, sowie der Stärke der Gasbildung bestimmt. Im Ergebnis gibt es sehr große Unterschiede in der Größe der Blasen, der Wandstärke, dem Anteil an organischer Substanz in den Zwischenräumen und der Lebensdauer der Blasen. Die natürliche Lebensdauer eines Schaums ist im Allgemeinen begrenzt durch das schwerkraftbedingte Auflösen der Trennwände. Dieser Zeitraum kann sich in Abhängigkeit von der Art der Schaum stabilisierenden Substanzen erheblich unterscheiden, wie man aus anderen Bereichen des Alltags kennt. Während man in der Badewanne froh ist, wenn der Schaum bis zum Ende der Badezeit hält, findet man in nicht gespülten Kaffeetassen den eingetrockneten (!!) Milchschaum vom Vortag, der zu stabil ist, um sich selbstständig durch die Schwerkraft aufzulösen.

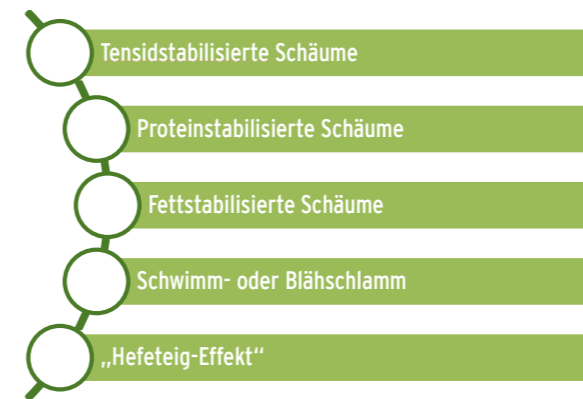


Abbildung 1: Arten von Schäumen bzw. schaumähnlichen Phänomenen

Die Ursache dieser starken Unterschiede ist, wie schon erwähnt, in der Zusammensetzung des Schaums zu suchen. Auf der Basis der Schaum-Zusammensetzung kann man eine weitere Klassifizierung vornehmen, um die Stabilität eines Schaums abschätzen zu können. Auch wenn die Protein- oder Fettmoleküle im Schaum ebenso amphiphilen Charakter aufweisen, spricht man von einem proteinstabilisierten Schaum wenn der Proteingehalt eines Schaums deutlich höher als in der umgebenden Flüssigkeit ist. Gleiches gilt für den Fettgehalt eines Schaums. Die Unterscheidung zu den weiteren in Abb. 1 genannten Gruppen ist einfacher, da es sich bei den letzten beiden nicht um „echte“ Schäume handelt. Wie schon in der Definition beschrieben, sollte der größte Anteil in einem Schaum aus Gas bestehen. Übersteigt das Volumen der Flüssigkeit zwischen den Blasen das Gasvolumen, sollte man nicht mehr von Schaum, sondern von Blähschlamm oder aufgeblähtem Fermenterinhalt sprechen (Abb. 2b). Wobei der „Bläh- oder Schwimmschlamm“ aus der Abwasserreinigung nicht mit dem in Biogasanlagen auftretenden Phänomen des „Hefeteigeffektes“ verwechselt werden darf, da der sogenannte Blähschlamm durch Mikroorganismen (z. B. *Gordonia*, *Microthrix parvicella*) hervorgerufen wird und nur als Schicht auf dem Abwasser schwimmt. Damit ist das Gefahrenpotential deutlich niedriger.

Exkurs: „Hefeteigeffekt“ in Biogasanlagen

Der Hefeteigeffekt in Biogas-Fermentern betrifft die komplette Flüssigkeitssäule, die sich infolge einer unvollständigen Ausgasung im Ganzen ausdehnt. Die Gefährlichkeit



Abbildung 2a: Typischer großblasiger Fermenterschaum

dieses Phänomens besteht darin, dass sich der Füllstand innerhalb einer Stunde in Abhängigkeit der Fermenterhöhe und der Viskosität im Fermenter um mehrere Meter erhöhen kann. Aufgrund dieser immensen Volumenvergrößerung und dem oft sehr hohen Anteil an Faserstoffen kann es zu einer sehr raschen Verstopfung der Gasleitungen und Überdrucksicherungen und im Extremfall zu einer gewaltsamen Öffnung des Fermenterdachs bzw. der Wände kommen. Der Auslöser mehrerer durch die Presse gehender „Explosionen“ von Fermentern war das Aufblähen des Fermenterinhalt und eine sich daraus entwickelnde Überdruckexplosion.

Die Entwicklung des „Hefeteigs“ ist ein Zusammenspiel der Faktoren Faserviskosität, Schleimviskosität, Trockensubstanz- bzw. Wassergehalt und Durchmischung des Fermenterinhalt. Wird der Aufstieg der Gasblasen zu stark gebremst, kommt es zu dem beschriebenen Aufblähen des Fermenterinhalt. Kurzfristige Abhilfe schafft das massive Rühren vor allem im oberen Bereich des Fermenters, um die Ausgasung zu unterstützen. Zur Beseitigung des Problems muss allerdings die Viskosität im Fermenter reduziert werden. Dies kann durch Änderungen im Substratmix oder durch den Einsatz von hydrolytischen Enzymen mit Schleimstoff lösender Wirkung erreicht werden.

Die Häufigkeit von Schaumproblemen in Biogasanlagen

Infolge der geringen Datengrundlage ist es relativ schwierig, das Ausmaß der Schaumproblematik in Biogasanlagen abzuschätzen. Bekanntermaßen ist Schaumbildung in Abwasserreinigungsanlagen und den daran angeschlossenen Faultürmen sowie in Biogasanlagen zur Verwertung von Speiseresten und Abfällen aus der Lebensmittelproduktion ein sehr häufiges Problem. Bei letzteren kann man davon ausgehen, dass fast alle Anlagen hin und wieder mit verstärkter Schaumbildung zu kämpfen haben. In diesen Anlagen ist der Umgang mit Schaum aufgrund der Häufigkeit meistens sehr routiniert und schränkt den Betrieb nur bedingt ein. Oft sind die Anlagen mit technischen Systemen zur Schaumbekämpfung ausgestattet. Auch in verschiedenen kleineren regionalen Umfragen in Biogasanlagen zur Verwertung von Abfällen und größeren Mengen Gülle (MOELLER et al., 2013; KOUGIAS et al., 2014) wurde Schaumbildung als wichtiges und häufiges Problem genannt. Bezieht man allerdings alle landwirtschaftlichen Biogasanlagen in Deutschland mit ein, wird das Ausmaß des Problems rela-



Bild 2b: Übergelaufener Fermenter nach Aufblähen des Fermenterinhalt („Hefeteigeffekt“)

tiviert. So nannten 327 von ca. 3.100, also ca. 10 % der Anlagenbetreiber Schaum als Problem und als Grund für eine tiefergehende Untersuchung des Fermenters (SCHAUMANN BIOENERGY GMBH, 2010-2014). In dieser Zahl sind Anlagen nicht erfasst, die möglicherweise hin und wieder eine leichte Schaumschicht in einem Behälter zeigen, die aber den Anlagenbetrieb nicht einschränkt.

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, war in 267 der Anlagen (82 %) der Hauptfermenter von der Schaumbildung betroffen, einmal die Hydrolyse und in 59 Anlagen der Nachgärer oder das Gärproduktlager (18 %). Gerade der Anteil an Anlagen mit starker Schaumbildung in den Nachgärern hat allerdings in den letzten 1-2 Jahren deutlich zugenommen.

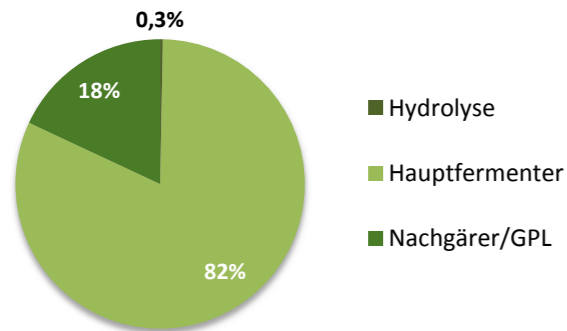


Abbildung 3: Von Schaumbildung betroffene Behälter (n= 326).

Ursachen der Schaumbildung

Die Grundbedingung für das Entstehen von Schaum ist das Vorhandensein von oberflächenaktiven Substanzen in ausreichender bzw. erhöhter Konzentration. Oberflächenaktive Substanzen, aufgrund ihrer Eigenschaften auch als amphiphile Stoffe bezeichnet, zeichnen sich dadurch aus, dass sie aus jeweils mindestens einem hydrophilen und einem lipophilen Molekülteil bestehen. Dieser Aufbau führt zu einer parallelen Ausrichtung der Moleküle an Grenzflächen wie z. B. Wasser/Gas oder Wasser/Öl (vgl. Abb. 1) und stabilisiert dadurch die Gasblasen im Schaumgerüst (LI & SCHRÖDER, 2004).

Das Erreichen einer kritischen Konzentration von oberflächenaktiven Substanzen, ab der eine Schaumbildung einsetzt, wird von verschiedenen Quellen beeinflusst. Teilweise liefern die in der Biogasanlage eingesetzten Substrate bereits direkt die ausreichenden Mengen. Dies können z. B. Saponine oder einige pflanzliche oder tierische Proteine sein. Meistens entstehen die oberflächenaktiven Stoffe allerdings erst im Fermenter im Rahmen des anaeroben Abbaus von Polysacchariden oder Proteinen (Metabolite). Auch einige von Mikroorganismen ausgeschiedene Stoffe wie z. B. extrazelluläre polymere Substanzen (EPS), Fettsäuren oder Lipopolysaccharide können Schaum bildende Eigenschaften annehmen. Eine detailliertere Aufzählung von oberflächenaktiven Substanzen findet sich in MOELLER et al. (2013).

Neben der Anwesenheit von schaumaktiven Substanzen wird die Schaumbildung in Praxisanlagen allerdings auch noch von weiteren Faktoren beeinflusst (Abb. 4). So berichten Anlagenbetreiber, dass die Schaumbildung bei wochenlang gleichbleibender Fütterung plötzlich einsetzte, als die Temperatur im Fermenter um 1-2 °C angestieg oder die Rührwerkseinstellungen verändert haben. Typischerweise tritt auch verstärkt Schaum in Anlagen auf, wenn stark ver-



Abbildung 4: Hauptfaktoren der Schaumbildung und deren Zusammenspiel.

säuerte Substrate (Speisereste, Silage-Sickersaft, Zuckerrübenmus, etc.) in größeren Chargen zugeführt werden. Bekannt ist auch, dass eine erhöhte Alkalinität die Oberflächenspannung herabsetzt und damit die Schaumbildung begünstigt wird (KOUGIAS et al., 2014). Diese Erfahrungen weisen auf physikalische Einflüsse hin, die dann im Endeffekt der Auslöser einer massiven Schaumbildung sein können.

Im Rahmen einer Umfrage in 16 dänischen Biogasanlagen (KOUGIAS et al., 2014, Abb. 5) gaben sechs der Anlagenbetreiber eine Überfütterung als Ursache der Schaumbildung an, vier Anlagen hohe N-Gehalte und jeweils einer einen hohen Fettanteil bzw. unangepasste Durchmischung. In drei Anlagen war die Ursache unbekannt. In einer Umfrage in 18 deutschen Anlagen durch MOELLER et al. (2013) gaben zwei Anlagen Nährstoffmangel als Grund der Schaumbildung an, drei Anlagen eiweißreiche Substrate und jeweils einer Überfütterung bzw. fettreiche Substrate. Drei Anlagenbetreiber konnten keinen Grund nennen.

Bei der Erfassung der Schaumprobleme in deutschen Biogasanlagen (Schaumann BioEnergy GmbH) wurden in ca. 70 % der Anlagen die eingesetzten Substrate als Hauptursache angegeben, ca. 15 % waren eine Folge einer Prozessstörung und in 15 % wurden physikalische Parameter als Ursache in Betracht gezogen, vor allem eine schlagartige Ausgasung infolge von Neutralisationsreaktionen im Fermenter (z. B. bei Einsatz von Silosickersaft oder Zuckerrübenmus mit pH 4,0) und/oder schneller Umsetzung der Substrate, Temperaturwechsel und Viskositätsänderungen (z. B. durch Verdünnung). Substrate, deren Einsatz laut Betreiber direkt Schaumbildung zur Folge hatte, waren Zuckerrüben, Gülle und vor allem sehr fettreiche und sehr saure Co-Substrate.

Substrate als Ursache

Eine Auswertung der in den Anlagen mit starker Schaumbildung gefütterten Substrate zeigte, dass in 80 % der Anlagen Gülle eingesetzt wurde. Weitere häufig mit Schaumbildung in Zusammenhang stehende Substrate waren Getreide (18,7 %), Geflügelmist (10,4 %) sowie Co-Substrate und Zuckerrüben mit 8 bzw. 6 % (Abb. 6). Der Vergleich der zwei Auswertungen ergibt, dass es einige Substrate gibt, die zu einer sofortigen Schaumbildung führen kön-

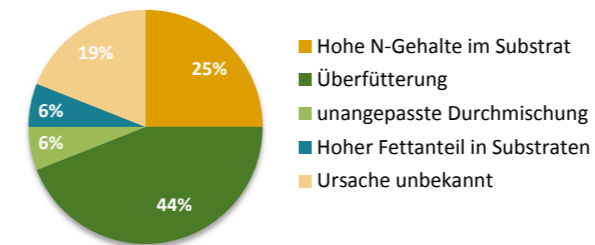


Abbildung 5a: Schaumursachen in 16 dänischen Biogasanlagen nach KOUGIAS et al. (2014)

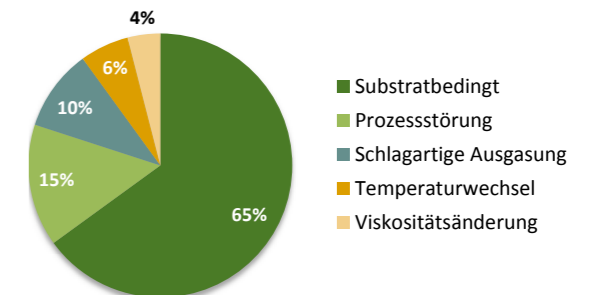


Abbildung 5b: Schaumursachen in 326 deutschen Biogasanlagen (SCHAUMANN BIOENERGY, 2010-2014)

nen, wie vor allem Zuckerrüben und zum Teil Gülle, und andere Substrate, die keine sofortige Reaktion zeigen, Schaumbildung im längerfristigen Einsatz allerdings begünstigen, wie beispielsweise Getreide und Geflügelmist. Gerade bei Einsatz größerer Anteile Zuckerrüben im Substratmix ist ein klarer Zusammenhang mit verstärkter Schaumbildung eindeutig. Jahr für Jahr führt der saisonale Einsatz von Zuckerrüben bei einigen Biogasanlagen in den ersten Wochen wieder zu Schaumproblemen. Die kritische Grenze, wann mit verstärkter Schaumbildung zu rechnen ist, liegt dabei bei ca. 20 % Zuckerrüben im Substratmix. Als Ursache wird hier der erhöhte Anteil an Pektinen in den Rüben diskutiert, bei deren Abbau oberflächenaktive Zwischenprodukte entstehen. Allerdings gibt es auch einige Anlagen mit 30 % oder mehr Zuckerrüben im Substratmix, in denen Schaumbildung keine Rolle spielt.

Bedenkt man, dass 70-80 % aller Anlagen Gülle einsetzen, ist die Schaumbildung nach Einsatz von Gülle eher die Ausnahme. Aufgrund der großen Zahl an Anlagen mit dem Substrat Gülle ist dies aber doch eine nicht unerhebliche Anzahl. Die Schaumentwicklung nach Gülleeinsatz kann, wie bei Zuckerrüben, auch sofort einsetzen. Die Ursache ist im Allgemeinen im zugehörigen Stall zu suchen. Meistens tritt eine Schaumentwicklung in der Biogasanlage nach einer Umstellung in der Fütterung oder einer Krankheit im Stall auf. Ein typisches Indiz ist ein erhöhter Zucker- bzw. Säuregehalt in der Gülle. Oft beginnt die Gülle auch schon im Stall zu schäumen.

Ein Zusammenhang zwischen der Fütterung von Getreide und Schaumentwicklung ist ebenfalls signifikant und wird auch von MOELLER et al. (2013) beschrieben. Da die Schaumentwicklung allerdings meist nicht mit der Getreidezugabe einsetzt, sondern oft erst durch das Zusammenspiel mit anderen Faktoren ausgelöst wird, ist der Zusammenhang nicht so offensichtlich und tritt erst durch die Auswertung vieler Anlagen in den Vordergrund. Ob die beim Abbau von Getreide entstehenden Protein- oder Stärkederivate für die Schaumbildung verantwortlich sind, kann hier nicht geklärt werden.

Unter dem Stichwort Geflügelmist sind verschiedene Substrate aus der Geflügelhaltung zusammengefasst: Hühnertrockenkot sowie Hähnchen-, Puten-, und Entenmist. Alle diese Substrate zeichnen sich durch einen hohen Stickstoffanteil aus. Im Bereich des Hühnertrockenkots kommt zusätzlich noch ein sehr hoher Carbonat-Gehalt dazu. Anlagen mit hohen Anteilen Geflügelmist in der Ration und damit erhöhten Stickstoffgehalten neigen deutlich stärker zu Schaumbildung als der Anlagendurchschnitt. Auch hier kann nicht abschließend geklärt werden, was die eigentlichen Ursachen sind, da die hohen Stickstoffgehalte und vor allem ein erhöhter Carbonat-Gehalt auch

zu einer Erhöhung der Alkalinität und damit zur Herabsetzung der Oberflächenspannung führen und dadurch eine Schaumbildung begünstigt wird. Da in entsprechenden Fermentern im Allgemeinen sehr hohe pH-Werte zwischen pH 8,0 und 8,6 vorliegen, könnten auch Säure-Basen- bzw. Neutralisations-Reaktionen und die damit verbundene schlagartige Gasfreisetzung eine ausschlaggebende Rolle für die spontane Schaumentwicklung bilden.

Säure-Basen-Reaktion:

Neben der substratinduzierten Schaumbildung wirken auch einige physikalische Parameter fördernd auf die Schaumbildung. Wie schon weiter oben erwähnt, kann es beispielsweise bei Vorliegen eines sehr hohen pH-Werts im Fermenter nach einer Fütterung von sehr säurereichen Substraten zu einer schlagartigen Freisetzung von CO₂ kommen. Dieses Phänomen tritt vor allem bei Fütterung von Zuckerrübenmus oder Sickersaft in Anlagen mit hohen Anteilen Hühnertrockenkot im Substratmix oder bei Fütterung von vorhydrolysierten Speiseresten in Anlagen mit hoher Stickstoffbelastung auf. Da die Alkalinität auch Einfluss auf die Oberflächenspannung hat, kann auch die Zunahme der Alkalinität eine Schaumbildung induzieren oder zumindest unterstützen. Dieser Mechanismus ist vermutlich wirksam bei den immer häufiger auftretenden Nachgärer-Schäumen. Üblicherweise steigt die Alkalinität im Nachgärer gegenüber dem Hauptfermenter infolge des fortgeschrittenen Abbaus organischer Substanz deutlich an. Fermenterinhalt, die unter Hauptfermenterbedingungen noch nicht zur Schaumbildung neigten, zeigen plötzlich Schaumbildung im Nachgärer.

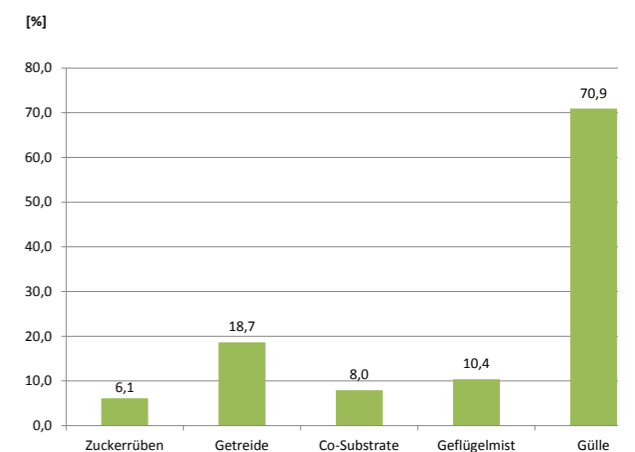


Abbildung 6: Einfluss der Substrate auf die Schaumbildung. Mehrere Substrate können gleichzeitig eingesetzt sein (n=326).

Schlagartige Ausgasung:

Die stoßweise Fütterung leicht hydrolysierbarer Substrate führt grundsätzlich zu einer starken kurzfristigen Gasbildung. Während die meisten Biogasanlagen inzwischen auf eine stündliche oder sogar halbstündliche Fütterung umgestellt haben, gibt es noch einige ältere Anlagen, die die komplette Tagesmenge in zwei bis drei Chargen in den Fermenter füttern. Dies führt zu einer großen Gasfreisetzung und einer regelmäßigen Überfütterung bzw. Belastung der Biozönose. Teilweise wird allerdings auch in moderneren Anlagen mit stündlicher Fütterung der Festsubstrate die Gülle immer noch in einer Charge täglich zugeführt. Auch dabei können vor allem im Winter zwei sich überlagernde Faktoren auftreten: eine verstärkte Gasbildung und eine Belastung der Fermenterbiologie durch die kurzfristige Abkühlung im Fermenter um bis zu 2-3 °C zumindest in Teilbereichen des Fermenters. In diesen Fällen hilft meistens schon die Etablierung einer regelmäßigen Fütterung zur Reduzierung des Schaumproblems.

Temperaturschwankungen:

Einige Anlagen berichten von einer starken Schaumentwicklung bei einer Temperaturzunahme im Fermenter. Dies kann zwei Ursachen haben: Zum einen verschiebt sich das Löslichkeitsgleichgewicht von CO₂ durch die Temperaturzunahme und es kommt zu einer verstärkten Ausgasung. Andererseits kann es bei Temperaturwechseln von über 2-3 °C auch zu einer stressbedingten Bildung von schaumaktiven Substanzen durch die Mikroorganismen kommen. Gerade in der Kombination mit dem ersten Faktor ist eine Schaumbildung vorprogrammiert. Temperaturerhöhungen treten vor allem im Frühsommer auf, wenn die Wärmemenge des leicht exothermen, anaeroben Substratabbaus die Wärmeabgabe in die Umgebung (Abstrahlung) übersteigt und es zur Eigenwärmung der Fermenter kommt. Kurzfristige Temperaturschwankungen können auch entstehen, wenn durch eine unzureichende Durchmischung ein Temperaturgradient im Fermenter vorliegt. Kommt es zu einem Ausgleich der Temperaturzonen, nimmt die Temperatur im einen Bereich um bis zu 2-3 °C zu, im anderen entsprechend ab.

Schaumbildung, die auf eine verstärkte Ausgasung zurückzuführen ist, tritt im Allgemeinen nur kurzfristig auf und kann mit kommerziellen Entschäumern erfolgreich bekämpft werden.

Durchmischung:

Auch Rührwerkseinstellungen werden vereinzelt als Ursache für Schaumentwicklung genannt. In diesem Bereich sind vor allem die Rührintervalle ausschlaggebend. Ist die Viskosität in einem Fermenter hoch und sind zu große Pausen zwischen den Rührintervallen, kommt es zu einer Akkumulation von Gas in der flüssigen Phase des Fermenters. Beim Einsetzen der Rührwerke ist dann regelmäßig eine starke Gasfreisetzung zu beobachten. Dieser Effekt tritt auch auf, wenn die Rührintensität insgesamt zu gering ist und es zur Bildung von „Totzonen“ im Fermenter kommt, die dann in unregelmäßigen Abständen wieder eingerührt werden. Neben der Gasfreisetzung kann hier auch noch eine stressbedingte Bildung von schaumaktiven Substanzen stattfinden. Schaumbildung, deren Ursache in einer unausgewogenen Durchmischung des Fermenters liegt, kann im Allgemeinen durch Änderung der Rührwerkseinstellungen reduziert werden.

Viskositätsänderungen:

Schnelle Viskositätsänderungen im Fermenter sind eher selten, können allerdings auch zu einer vermehrten Schaumbildung führen, da die Aufstiegs geschwindigkeit der Gasblasen verändert wird. Neben der schon genannten Temperaturzunahme kann die Viskosität durch den Einsatz von Hilfsstoffen (Enzyme etc.) oder dem erhöhten Einsatz von Flüssigsubstraten bzw. Wasser oder Rezirkulat verändert werden. Oft kommt es nach der Überwindung einer Abbauhemmung, die zu einer Eindickung des Fermenter-inhalts geführt hat, zu einer starken Viskositätsabnahme und einer damit verbundenen Freisetzung von großen Mengen Biogas. Auch die Schaumbildung, die durch Viskositätsänderungen hervorgerufen wurde, tritt meistens nur über einen kurzen Zeitraum auf und kann mit Einsatz eines Entschäumers gut kontrolliert werden.

Fettschaum:

Ein sogenannter Fettschaum entsteht nur, wenn ein größerer Anteil fettreicher Substrate im Substratmix eingesetzt wird. Im stabilen Betrieb werden die Fettbestandteile mit den anderen Substratbestandteilen in den Fermenter eingerührt und der Abbau beginnt sofort. Es herrscht ein Gleichgewicht an Fettzufuhr und Abbau durch entsprechende Mikroorganismen. Wird die Fettration allerdings kurzfristig erhöht, ist die Biologie überlastet und es kommt zu einer Akkumulation von Fettbestandteilen an der Fermenter-inhalts oberfläche. Dieser Fettfilm nimmt dann kontinuierlich an Dicke zu, solange weiter erhöhte Fettmengen gefüttert werden. Sind auch noch ausreichend weitere schaumaktive Substanzen vorhanden, kommt es zu einer Bildung eines sogenannten Fettschaums, der sehr schwer zu bekämpfen ist, da die gängigen Entschäumer meistens auf Basis von Fettsäuren und Fettsäureestern arbeiten und ihre Wirkung nicht entfalten können. Die besten Ergebnisse bei der Bekämpfung von Fettschaum werden durch die Reduzierung der Fettfracht in der Fütterung kombiniert mit dem Einrühren des Schaums erreicht.

Schaumbildung infolge von Prozessstörungen:

Prozessstörungen sind einer der eindeutigsten Auslöser von verstärkter Schaumbildung. Dies zeigen sowohl eigene Auswertungen als auch die Arbeiten von MOELLER et al. (2013) und KOUGIAS et al. (2014). Eine der möglichen Folgen solch einer Prozessstörung ist eine stressbedingte Bildung von schaumaktiven Metaboliten, wie z. B. länger-kettige Fettsäuren, oder die Ausscheidung von tensidartigen Substanzen, sogenannten „Biotensiden“, wie z. B. Phospholipide oder Lipopolysaccharide (MOELLER et al., 2013). Typische Prozessstörungen werden durch Überfütterung, Temperaturwechsel, Substratwechsel oder Hemmstoffe ausgelöst. Die häufigste Ursache dürfte dabei die kurzfristige Überfütterung darstellen. Oft ist der Energiegehalt eines Substrats nicht bekannt oder im Rahmen einer Leistungssteigerung wird zu schnell vorgegangen. Zum Teil kann es auch durch das Aufrühren von schlecht durchmischten Bereichen im Fermenter („Totzonen“) zu einer starken Energiefreisetzung kommen. Den zweitwichtigsten Bereich stellen Hemmstoffe dar. In diesem Zusammenhang sind vor allem die akut toxisch wirkenden Hemmstoffe wie Mykotoxine von Schimmel befallenen Substraten und Antibiotika im Geflügelmist oder in Gülle zu nennen. Bei dieser Art Toxine kommt es zu einer sofortigen Reaktion der Biozönose, die neben einer

möglichen Schaumbildung auch einen massiven Anstieg von flüchtigen Fettsäuren und/oder einen Einbruch der Methanproduktion zur Folge haben kann. Auch Hemmstoffe, die erst nach einer Akkumulation zu einer Hemmung führen, wie z. B. Ammoniak, Limonen oder Schwermetalle, können eine Schaumbildung auslösen, allerdings ist dabei oft die Ursache-Wirkungs-Beziehung nicht ganz so leicht zu erkennen, da meistens mehrere Faktoren, die eine Schaumbildung auslösen können, gleichzeitig vorliegen. Schaumbildung infolge von Prozessstörungen tritt oft sehr schnell und sehr massiv auf.

Strategien zur Schaumbekämpfung

Viele Strategien zur Bekämpfung einer übermäßigen Schaumbildung sind aus Praxiserfahrungen weitergegeben worden (Abb. 7). Da die Biogasbranche relativ jung ist, blieb den Betreibern und Beratern von Biogasanlagen in den ersten Jahren nichts anderes übrig, als sich an den Erfahrungen aus der Abwasserreinigung zu orientieren. Die am weitesten verbreitete Erstmaßnahme bei verstärkter Schaumbildung ist das Absenken des Füllstandes im Fermenter, um das Eindringen von Schaum in das Gasleitungssystem zu vermeiden. Gleichzeitig werden oft höhenverstellbare Rührwerke nach oben gestellt, um den Schaum einzurühren und die Fütterung wird etwas reduziert. Dieses Maßnahmenpaket ist grundsätzlich zu empfehlen, wenn kein Entschäumer vor Ort ist, da der finanzielle Schaden einer Reinigung der Gasleitungen deutlich höher ist als die Einbußen durch die kurzfristig reduzierte Fütterung oder die erhöhte Rührleistung. Natürlich lösen diese Maßnahmen nicht die Schaumbildungsproblematik, immerhin reduzieren sie aber die Gefahr technischer Schäden erheblich. Stellt man dabei fest, dass die Schaumentwicklung selbstständig bei unter 0,4 m Schaum stagniert, kann man den Füllstand bzw. die Fütterung wieder entsprechend anheben. Viele Schaumarten lassen sich durch Propellerrührwerke, die knapp unter dem Flüssigkeitsspiegel arbeiten, hervorragend über längere Zeiträume mechanisch kontrollieren. Um die Ursache der Schaumbildung möglichst schnell zu erfassen, sollte sofort eine Fermenterprobe an ein erfahrenes Biogaslabor geschickt werden. Wenn die Möglichkeit besteht, macht es auch Sinn, zusätzlich eine Probe des Schaums einzuschicken, um den Schaumtyp zu ordnen zu können.

Einsatz von Entschäumern:

Der Großteil der Schäume in Biogasanlagen kann mit dem Einsatz kommerzieller Entschäumer gut bekämpft werden. Allerdings wird mit Entschäumern nur der Schaum, also das Symptom bekämpft. Die Schaumursache wird nicht verändert. Parallel zum Einsatz von Entschäumern sollte deshalb die Ursache der Schaumbildung geklärt werden, um eine längerfristige Strategie zu entwickeln. Der Einsatz von Entschäumern über einen langen Zeitraum kann zu einem Kostenproblem werden. Entschäumer funktionieren tendenziell eher nicht bei den meisten Formen von Fett- und bei vielen Proteinschäumen.

Pflanzliche Öle und deren veresterte Formen (Biodiesel) sind von ihrem Wirkungsspektrum insgesamt ähnlich einzuschätzen wie Entschäumer. Auch sie wirken bei vielen Schaumarten sehr gut und zeigen bei letztgenannten keine Wirkung. In Gegensatz zu dem Einsatz von Entschäumern muss die Dosierung von Ölen allerdings nach einer ersten Phase mit guter Wirkung kontinuierlich erhöht werden, da die Bakterien schnell beginnen das Öl als Substrat zu nutzen und abzubauen. Bei länger anhaltenden Phasen der Schaumbildung sollte deshalb zwischendurch auf Entschäumer umgestellt werden. Viele Anlagen, die schon mit Schaumproblemen zu tun hatten, haben immer eine Grundmenge an Entschäumer oder Pflanzenöl an der Anlage um kurzfristig auf Schaumbildung reagieren zu können.

Eine weitere Gruppe an Zusatzstoffen, die von manchen Anlagenbetreibern eingesetzt werden, sind Puffersubstanzen, z. B. Calciumoxid („Branntkalk“), Calciumhydroxid („gelöschter Kalk“), Harnstoff oder Natriumbicarbonat. Diese Produkte führen bei ausreichendem Einsatz zu einer Änderung der Oberflächenspannung und können so Schaumbildung reduzieren. Im Gegensatz zu den meisten Entschäumern und Pflanzenölen können diese Produkte auch Wirkung auf Fett- und Proteinschäume haben. Positive Ergebnisse sind vor allem aus Abwasseranlagen und gülledominierten Ko-Fermentationsanlagen bekannt (KOUGIAS et al., 2014). In den in Deutschland dominierenden landwirtschaftlichen Anlagen mit einem hohen Anteil Festsubstrate mit bereits hoher Alkalinität gibt es eher wenig positive Rückmeldungen zum Einsatz von Puffern zur Schaumreduzierung. In Anlagen mit hohem Anteil Zuckerrüben in der Fütterung und einem entsprechend niedrigen Stickstoffgehalt und TAC-Wert kann z. B. der Einsatz von Harnstoff gute Effekte gegen Schaumbildung erzielen. Der Einsatz von großen Mengen entsprechend stark pH-erhöhender Substanzen in , die infolge von Geflügelmist- oder Getreide-Fütterung bereits bei einem pH-Wert von pH 8,0-8,5 sind, ist allerdings sehr kritisch zu sehen.



Foto: EWM GmbH

Weitere Maßnahmen zur Schaumbekämpfung:

Kann ein Substrat eindeutig als Schaumverursacher identifiziert werden, muss abgewogen werden, ob zumindest ein Teilstrom aus dem Substratmix herausgelöst und zwischengelagert oder direkt in einen Nachgärbehälter gefüttert werden kann. Da in Nachgärbehältern die Raumbelastung im Allgemeinen viel niedriger ist, ist die Gefahr einer Schaumbildung eher niedrig. Dieses Vorgehen ist vor allem für Gülle und für Zuckerrüben sehr erfolgreich einzusetzen.

Bei länger anhaltender Schaumbildung besteht die Möglichkeit, über die Veränderung der physikalischen oder rheologischen Eigenschaften des Fermenterinhalt die Schaumbildung zu reduzieren. Dies kann durch die Veränderung der Temperatur oder der Viskosität erfolgen. Eine Reduzierung der Viskosität kann zum Beispiel durch die Erhöhung der Rezirkulationsrate, den vermehrten Einsatz von Wasser oder wasserreichen Substraten oder den Einsatz von hydrolytischen Enzymen erreicht werden. In Fermentern mit niedrigem Trockensubstanzgehalt kann teilweise durch den Einsatz wasserarmer Substrate bzw. die Erhöhung der Trockensubstanz im Fermenter die Schaumbildung reduziert werden. Auch Temperaturveränderungen können in beide Richtungen erfolgreich sein. Grundsätzlich sollte auch der Einfluss des Durchmischungssystems auf die Schaumbildung durch Veränderung der Rührintervalle getestet werden. Ist die Schaumbildung an eine Prozessstörung gekoppelt,

sollte die Ursache der Prozessstörung möglichst schnell identifiziert werden. Wie schon unter den Erstmaßnahmen erwähnt, ist die Einsendung einer Fermenterprobe an ein Biogaslabor sehr wichtig. Aus den Ergebnissen können Handlungsstrategien zur weiteren Schaumbekämpfung abgeleitet werden. Liegt ein Spurenelementmangel vor, kann durch den Einsatz einer angepassten Spurenelementmischung die Schaumbildung sofort gestoppt werden. Sind Hemmstoffe in den Fermenter eingetragen worden, kann unter Umständen ebenfalls mit Zusatzstoffen gearbeitet werden (z. B. bei Ammoniakhemmung), der Fermenterinhalt kann verdünnt werden oder es muss neu angeimpft werden. Bei einer Störung durch Temperaturschwankungen sollte schnellstmöglich zur üblichen Temperatur zurückgekehrt werden etc.

Bei regelmäßig auftretender Schaumproblematik lohnt sich oft, zu technischen Lösungen zu greifen. Am meisten verbreitet im Bereich der Abfallanlagen ist die Installation einer Fächerdüse im Kopfraum des Fermenters, um den unter der Düse vorbeiziehenden Schaum mechanisch mit Wasserdruck zu zerstören. Diese Lösung ist zwar sehr effizient, allerdings wird in Phasen starker Schaumbildung sehr viel Wasser in den Fermenter eingebracht, was bei begrenztem Gärrest-Lagervolumen kritisch ist. Sehr erfolgreich wurde auch in einigen Anlagen ein großvolumiger Überlauf direkt durch die Fermenterwand auf Füllstandshöhe eingebaut. Neben Schaum kann dadurch eine potentielle Schwimmschicht wirkungsvoll vermieden werden.

Erstmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Füllstand absenken • Fütterung reduzieren • Schaum einrühren • Probe an ein Labor schicken
Einsatz von Zusatzstoffen	<ul style="list-style-type: none"> • Entschäumer • Pflanzenöle • Puffernde Substanzen
Vermeidung Schaum bildender Substrate	<ul style="list-style-type: none"> • Reduzierung schaumverursachender Substrate in der Fütterung • Fütterung Schaum verursachender Substrate in den Nachgärer • Änderung der Fütterungsintervalle
Bekämpfung einer möglichen Prozessstörung	<ul style="list-style-type: none"> • Bei Spurenelementmangel: Dosierung Spurenelementprodukt • Bei Hemmstoffen: Reduzierung Hemmstoff, Zusatzstoffe, evtl. Neubeimpfung • Bei Überfütterung: Fütterungspause etc.
Änderung der physikochem. Bedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Änderung der Viskosität • Änderung der Temperatur • Änderung der Alkalinität
Optimierung der Durchmischung	<ul style="list-style-type: none"> • Verkürzung der Pausen zwischen den Rührintervallen • Variation der Rührwerke • Erhöhung der Fütterungsintervalle
Technische Maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> • Einbau von Fächerdüsen • Einbau eines Überlaufs • Einbau oberflächennaher Rührwerke

Abbildung 7: Möglichkeiten der Schaumbekämpfung

Referenzen

- P.G. Kougiass, K. Boe, S. O-Tong, L.A. Kristensen, I. Angelidaki; Anaerobic digestion foaming in full-scale biogas plants: a survey on causes and solutions. *Water Science & Technology*, 69.4, 2014.
- L. Moeller, C. Herbes, R. A. Müller, A. Zehndorf; Schaumbildung und -bekämpfung im Prozess der anaeroben Gärung. *Landtechnik*, 3, 2010
- L. Moeller, K. Görsch, Y. Köster, R. A. Müller, A. Zehndorf; Schaumbildung und Schaumvermeidung in Biogasanlagen. *UFZ-Bericht 01*, ISSN 0948-9452, 2013.
- H.-Q. Li, H.F. Schröder; Ursachen für die Schaumentwicklung auf kommunalen Kläranlagen unter Berücksichtigung des Beitrags oberflächenaktiver Stoffe, Teil 1: Ergebnisse der chemischen Analyse. *KA - Abwasser, Abfall* 51, Nr. 1, 2004.
- H.-Q. Li, H.F. Schröder; Ursachen für die Schaumentwicklung auf kommunalen Kläranlagen unter Berücksichtigung des Beitrags oberflächenaktiver Stoffe, Teil 2: Diskussion der Ergebnisse der chemischen Analyse. *KA - Abwasser, Abfall* 51, Nr. 3, 2004.
- S. O-Tong, K. Boe, I. Angelidaki; Mapping of foaming problems and developing strategies for preventing foaming in biogas plants. Presentation, Technical University of Denmark (DTU), Department of Environmental engineering, Miljø, 2010.

Jede vermiedene Betriebsstörung ist ein wirtschaftlicher Vorteil



Dr. Markus Biegel (39) ist stellvertretender Leiter der Abteilung Technische Dienste bei der OEWA. Die OEWA Wasser und Abwasser GmbH wurde 1991 gegründet und gilt als Spezialist für die sichere Versorgung der Menschen mit qualitativ einwandfreiem Trinkwasser und für umweltgerecht behandeltes Abwasser. Die 100-prozentige Tochter der Veolia Deutschland GmbH unterstützt als Dienstleister vor allem in Mitteldeutschland Kommunen, Zweckverbände, Privathaushalte, Industrie- und Gewerbeunternehmen bei allen Aufgaben rund um die Trinkwasserversorgung und Abwasserentsorgung.

Das Interview führte Andreas Zehndorf.

Welche Erfahrungen haben Sie mit Schaumbildung in Faultürmen gemacht?

Markus Biegel: Wir hatten bisher zweimal mit diesem Thema zu tun. Einmal schon während der Inbetriebnahme einer Faulung. Hier waren veränderte Milieubedingungen ursächlich, da parallel die Schlammwässerung technologisch verändert wurde. Im zweiten Fall kam es zu einer Schaumbildung in der Faulung, weil es einen relativ hohen Anteil Fadenbakterien in der Biologie gab.

Wie intensiv wird das Thema auf fachlicher Ebene verfolgt?

Markus Biegel: Grundsätzlich ist das Problem auch in wasserwirtschaftlichen Fachkreisen bekannt und wird in den entsprechenden Fachmedien diskutiert. Wenn man über Schaumbildung in der Faulung spricht, zeigt sich allerdings immer noch ein großer Forschungsbedarf. Denn bisher ist dieses Phänomen relativ schwer vorhersehbar und damit natürlich auch schwer zu beherrschen. Das Betriebspersonal auf den Kläranlagen weiß oft nur, dass eine Änderung der Milieubedingungen problematisch sein könnte. Aus diesem Grund wird versucht, möglichst wenige Rahmenbedingungen zu ändern, um den Betrieb stabil zu halten. Wie sich eine Änderung der Milieubedingungen auswirken könnte, ist nämlich in den meisten Fällen die große Unbekannte.

Warum sollte denn überhaupt am bisherigen Betrieb der Faulung mit Überschussschlamm auf Kläranlagen etwas verändert werden?

Markus Biegel: Es gibt den Anspruch und auch konkrete Bemühungen, Kläranlagen immer stärker energieautonom zu gestalten. Das Ziel ist, sie vom Energieverbraucher zum Energieproduzenten zu entwickeln. Es geht darum, jene Energie, die über die organischen Bestandteile im Abwas-

ser automatisch angeliefert wird, nicht mit noch mehr Energie zu „vernichten“, sondern zum Beispiel über die Faulung wieder nutzbar zu machen. Oftmals gibt es noch Kapazitäten in den Faultürmen, so dass man Co-Substrate zur zusätzlichen Auslastung verwenden und dadurch die Energieautonomie weiter erhöhen kann. Theoretisch müsste man also permanent Co-Substrate zuführen, um die Effizienz weiter zu steigern. Aber das Betriebspersonal steht dem oft kritisch gegenüber. Es befürchtet, dass es durch zusätzliche Co-Substrate in möglicherweise unterschiedlichen Qualitäten und Anlieferungszyklen zur Schaumbildung in der Faulung kommen könnte. Ein spannender Forschungsansatz. Es müsste gelingen, diese Sorgen fachlich fundiert zu entkräften. Am Ende geht es darum, den Betrieb der Kläranlagen weiter zu optimieren.

Gibt es praktische Ansätze, die Sie hier beispielhaft beschreiben könnten?

Markus Biegel: Mit dem Schaumtester sehen wir zum Beispiel eine interessante Möglichkeit, die zuzuführenden Co-Substrate für eine Faulung besser in ihrer Wirkung bewerten zu können. Auf diese Weise könnte man mehr verschiedenartige Co-Substrate auch für die Faulung auf Kläranlagen verfügbar machen. So wird das Risiko eines daraus resultierenden Betriebsproblems minimiert. Außerdem könnten damit mehr der bisher noch in die Verbrennung oder auf Deponien verbrachten organischen Reststoffe für die Faulung erschlossen werden. Damit wäre man in der Lage, die technisch hochspezialisierten Faulungsanlagen auf den Kläranlagen mit ihren großen Kapazitäten ebenso als potenzielle Energiegewinnungsanlagen zur Reststoffverwertung zu nutzen. Der logistische Aspekt sollte dabei nicht vernachlässigt werden: Denn in der Regel befinden sich die Anlagen in der Nähe von Städten oder größeren Gemein-



den. Es wäre also auch ökologisch in vielen Fällen sinnvoll, organische Reststoffe nicht erst z. B. in eine weiter entfernte Verbrennung zu fahren. Grundsätzlich müsste aber eben geklärt werden, was passiert, wenn bestimmte Fette oder Grünschnitt oder Lebensmittelreste als Co-Substrat zugegeben werden. Denn auf den großen, komplexen Kläranlagen ist es äußerst anspruchsvoll, im Falle eines Falles den wirklichen Auslöser für die Schaumbildung in Faultürmen ausfindig zu machen – und zwar zeitnah. Deshalb ist es unerlässlich, die Prozesse und Ursachen für Schaumbildung genau zu kennen.

Was sind Ihre Erfahrungen mit Ursachen und Folgen von Schaumbildung in Faultürmen?

Markus Biegel: In unserem ersten Fall hatten die Kollegen vor Ort nicht berücksichtigt, dass neben der Inbetriebnahme der Faulung auch weitere technologische Änderungen auf der Kläranlage vorgenommen wurden. Im konkreten Fall wurde das Eindickverfahren für den Überschussschlamm optimiert und damit der Trockensubstanzgehalt erhöht. Diese veränderten Milieubedingungen gefielen den Bakterien in der Faulung überhaupt nicht. Dadurch kam es zu einer massiven Schaumbildung, wie unsere Analysen im Nachhinein ergeben haben. Anfangs konnten wir das Problem gar nicht nachvollziehen; eigentlich war die Faulung gut angelaufen und schon mehrere Wochen in Betrieb. Mit einem Mal kam es zur Schaumbildung. Wir dachten anfangs nicht, dass der veränderte Trockensubstanzgehalt im Überschussschlamm damit ursächlich zu tun hatte. Zumindest gehen wir inzwischen davon aus, dass dies die Ursache war - sicher belegen konnten wir das nie. Denn im Laufe der Untersuchungen ließ die Schaumbildung von allein nach. Offensichtlich hatten sich die Bakterien an die neuen Verhältnisse gewöhnt. Für mich ist das ein typischer Fall: Ich verändere an einer vollkommen anderen Stelle des Kläranlagenbetriebs einen technologischen Baustein, ohne direkten Zusammenhang zur Faulung, und plötzlich bekomme ich es mit Schaumbildung in der Faulung zu tun. Dann einen Zusammenhang herzustellen, das ist die große Herausforderung auch für uns als Betreiber vieler kommunaler Kläranlagen.

Was konnte in diesem konkreten Fall gegen die Schaumbildung unternommen werden?

Markus Biegel: Die Kollegen mussten die Beschickung der Faulung zeitweilig außer Betrieb nehmen beziehungsweise nur mit verringerter Leistung fahren. Das war die einzige Möglichkeit, die Schaumbildung einzudämmen. Der Betrieb war insgesamt stark beeinträchtigt; der Schaum blockierte sämtliche Gasaustritte. Das bis zur Gaswäsche mit Schaum verschmutzte Gasleitungssystem musste später aufwändig gereinigt werden. Es haben sich hier vermutlich mehrere Effekte gegenseitig verstärkt, was die Bakterien vollkommen durcheinander gebracht hat. Rückblickend muss man sagen, dass die Effizienz der Faulung im ersten Jahr äußerst gering gewesen war. Wir haben einen Großteil der einkalkulierten Energieproduktion und damit der Energieeinsparung durch die Faulung nicht realisieren können. Folglich verzögerten sich auch geplante Investitionen, die durch spürbare Einspareffekte gegenfinanziert werden sollten.

Wie sind Sie in Ihrem zweiten Fall mit der Schaumbildung umgegangen?

Markus Biegel: Hier lief auf der Kläranlage scheinbar alles normal. Der Schlamm wurde konstant abgezogen und in die Faulung geschickt. Nach mehreren Monaten Betrieb bekamen wir es in der Faulung plötzlich mit Schaumbildung zu tun. Eine Ursache war nicht ersichtlich. Woran wir nicht gedacht hatten: eine veränderte Bakterienzusammensetzung im Belebungsbecken. Es stellte sich heraus, dass wir einen relativ hohen Anteil Fadenbakterien in der Biologie hatten. Das war jedoch nicht offensichtlich. Es gab kaum Probleme mit Blähschlamm in der Nachklärung, die Ablaufqualität stimmte. Daher war es den Kollegen nicht sofort aufgefallen. Die Schaumbekämpfung war in diesem Fall unkomplizierter, auch wenn sie mit zusätzlichem Aufwand verbunden war. Wir konnten den Schaum kontinuierlich mit Chemikalien behandeln und mussten die Faulung nicht außer Betrieb nehmen. Aber sie blieb bis auf weiteres ein Störfaktor beim Anlagenbetrieb. Und für uns stieg der Aufwand, die Prozesse zu überwachen. Letztendlich haben wir die Biologie wieder richtig eingestellt, die Fadenbakterien bekämpft. Am Ende hat auch die Faulung wieder funktioniert. Aber das dauert natürlich seine Zeit und bindet zusätzliche Mittel.

Fotos: Veolia

Welche Co-Substrate kommen bei der Vergärung von Klärschlamm in Frage?

Markus Biegel: Wir sind vor allem an energetisch hochwertigen Co-Substraten interessiert, zum Beispiel Fettabscheiderinhalte, die technologisch relativ einfach zu verwerten sind. Dennoch sollte die Entwicklung aus unserer Sicht dahin gehen, das Spektrum um andere biologische Reststoffe zu erweitern. In anderen Ländern bereiten wir bereits verdorbene, aber verpackte Lebensmittel auf und machen sie so für die Faulung nutzbar. Abgelaufener Joghurt oder saure Milch, die teilweise heute noch in die Verbrennung oder auf die Deponien gelangen, können als Co-Substrate eingesetzt und damit auf kurzem Weg entsorgt werden. Das funktioniert schon. Für Grünschnitt hingegen gibt es meines Wissens nach bei uns bisher kein gut funktionierendes System, das großtechnisch im Einsatz ist. Sicher ist das ein Thema für die Zukunft. Wir haben bereits Versuche unternommen, mit Grünschnitt zu arbeiten. Aber aufgrund seiner speziellen Struktur und dem geringeren Energiegehalt sind wir mit den Ergebnissen noch nicht zufrieden.

Wie schätzen Sie die künftige Entwicklung der Schlammfäulung auf Kläranlagen ein?

Markus Biegel: Im Moment ist für uns eine Mischung verschiedener Co-Substrate interessant. Das heißt, wie erlange ich darin Routine, betriebssicher mit unterschiedlichen Co-Substraten in der Faulung zu arbeiten und dabei die Zusammensetzung kurzfristig verändern zu können? Ist das überhaupt möglich? Oder ist das System womöglich zu sensibel? Wir müssen klären, ob es sich lohnt, hier weiter zu testen oder sich doch auf bestimmte Co-Substrate zu spezialisieren und dabei zu bleiben. Falls die Mischung verschiedener Co-Substrate wirklich funktionieren sollte, muss es sicher noch technologisch bei den Beschickungssystemen und auch den Mess- bzw. Überwachungsmethoden eine Weiterentwicklung geben. Denn es stellt sich in diesem Zusammenhang dann die Frage, inwieweit ich eine Qualitätssicherung für meine Co-Substrate erreichen kann? Wie kann ich sicherstellen, dass beispielsweise der Fettabscheiderinhalt für meine Faulung immer geeignet ist? Oder sind womöglich Fette darunter, die wegen ihrer industriellen Herkunft schädlich sein könnten? Auf jeden Fall wäre die Verwendung unterschiedlicher Co-Substrate ein interessantes Betätigungsfeld für uns. Da Veolia in vielen Regionen mit der Abfallentsorgung beauftragt ist, könnte man hier sinnvoll Synergien erzielen - und so zu einer kostengünstigeren und umweltschonenderen Entsorgung beitragen.

Gibt es Themen, denen sich die Forschung zur Vermeidung von Störungen bei der Schlammfäulung in Zukunft annehmen sollte?

Ein Grund, warum man die Ursachen der Schaumbildung weiter eingehend erforschen sollte, sind die langfristigen Auswirkungen auf den Betrieb. Eine Schaumbildung lässt sich oft nicht von heute auf morgen beseitigen. Insofern ist das für uns als Betreiber von Kläranlagen ein sensibles Thema. Unter Umständen fällt die Anlage längere Zeit sogar aus, was zusätzliche Kosten verursacht. Es muss am Ende auch wirtschaftlich sinnvoll sein, eine Faulung zu betreiben. Da ist jede Störung hinderlich. Letztendlich liegen die wirtschaftlichen Vorteile jedes vermiedenen Betriebsproblems für uns klar auf der Hand.

Ein weiterer Aspekt ist die zusätzliche Nutzung von Co-Substraten. Die Faulungsanlagen sind im Moment nur auf größeren Kläranlagen wirtschaftlich; die Grenze liegt bei etwa 30.000 bis 40.000 Einwohnergleichwerten. Es gibt aber zahlreiche Anlagen, die entschieden kleiner sind. Viele Gemeinden, für die wir hier in Mitteldeutschland arbeiten, verfügen über Anlagen mit einer Kapazität von 10.000 bis 25.000 Einwohnergleichwerte. Dort ist eine Faulung ausschließlich für Klärschlamm derzeit nicht wirtschaftlich, weil zu wenig Kohlenstoff über das Abwasser ankommt. Würde man allerdings standardmäßig zusätzliche Co-Substrate verwenden können und das bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung berücksichtigen, dann wäre auch für mittelgroße Anlagen eine Faulung durchaus sinnvoll. Dies hätte natürlich Vorteile für die Schlammbehandlung, die Entsorgungskosten und auch die Umweltbilanz, da man nicht so viel Schlamm abtransportieren müsste. Es ist zweifellos ein Unterschied, ob ich unbehandelten Schlamm hunderte Kilometer bis zur nächsten Verbrennungsanlage fahre oder das Volumen verringern kann, weil vorher eine Faulung stattgefunden hat. Die gesetzlichen Rahmenbedingungen sprechen aktuell noch gegen die zusätzliche beliebige Verwendung von Co-Substraten. Und natürlich bestehen die schon benannten technologischen Unsicherheiten bei der Verwendung von Co-Substraten.

Unsere Zukunftsvision stellt sich wie folgt dar: Es wurde viel Geld in Kläranlagen mit Faulungen investiert. Also warum nutzen wir diese Technik nicht weiter, um hocheffizient auch die Reststoffentsorgung anderer Abfälle zu erledigen? Im Moment tun sich da noch einige Hindernisse auf. Die Frage ist, ob es den politischen Willen gibt, die entsprechenden (abfall)rechtlichen Voraussetzungen zu schaffen? Hinzu kommen die technischen Herausforderungen. Um am Ende einen hoffentlich großen Schritt nach vorn zu machen, braucht es offensichtlich einen langen Atem und gute Ideen.

Danke für das Interview.

Transparente Prozessüberwachung in Biogasanlagen

Jürgen Wiese,
 GKU Gesellschaft für kommunale Umwelttechnik mbH, Fulda

Foto: A. Gröber, DBFZ

Biogasanlagen gewinnen seit Jahren weltweit stark an Bedeutung. Auch wenn einzelne Anlagenkomponenten im letzten Jahrzehnt erheblich weiterentwickelt wurden und damit die Biogastechnik sehr viel zuverlässiger geworden ist, so sind Art und Umfang der verwendeten Mess- und Automationstechnik noch oft weit entfernt von dem Stand in der Industrieautomation oder der artverwandten Abwassertechnik. Man muss daher sehr viele Biogasanlagen eher als Black-Box-Systeme bezeichnen, deren prinzipiellen Prozesse man zwar verstanden hat, die sich aber aufgrund lückenhafter Betriebsdaten in der Praxis nur schwer analysieren und optimieren lassen. Da die Herausforderungen an den Biogasanlagenbetrieb aber - nicht zuletzt wegen sinkender Förderungen - immer komplexer werden, gewinnt der Einsatz von Mess- und Automationstechnik auf Biogasanlagen immer mehr an Bedeutung. In diesem Artikel will der Autor einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten dieser Technik geben.

Stand der Mess- und Automationstechnik auf Biogasanlagen

In den letzten Jahren wird zunehmend mehr auf Biogasanlagen gemessen. Dabei handelt es sich im Wesentlichen aber um relativ einfach zu messende Größen (z. B. Füllstand, Durchfluss, Temperatur, Energieverbrauch/-produktion). Der „höchste“ Stand der messtechnischen Ausstattung einer mittleren bis größeren Biogasanlage neueren Datums lässt sich nach den Ergebnissen von WEILAND (2008) und den Erfahrungen des Autors grafisch wie folgt abbilden (Abb. 1).

Weiterhin gilt, dass viele in Echtzeit erfasste Daten bisher nur zur Überwachung und Dokumentation, aber nicht zur Steuerung bzw. Regelung eingesetzt werden. Oft erfolgt weder eine kontinuierliche elektronische Speicherung noch eine Plausibilitätsprüfung der anfallenden Daten. Da sich einige Parameter noch nicht oder mit hohen Kosten online bestimmen lassen (z. B. organische Säuren, Ammonium), sind regelmäßige Laboranalysen in der Anaerobtechnik nach wie vor von großer Bedeutung. Dennoch kann man auch hier beobachten, dass wichtige Prozessgrößen auf vielen Anlagen nicht oder nur selten erfasst werden. Dies gilt ebenso für Eingangsstoffe, deren Zusammensetzung in vielen Fällen ebenfalls stark schwanken kann. Viele Biogasanlagen sind bis heute zudem nicht oder nur

geringfügig automatisiert. Wenn man Steuerungen und Regelungen vorfindet, so handelt es sich zudem meist um einfache Konzepte (z. B. Fütterungssteuerung auf Basis von Wägezellen). Die geringe Verbreitung von Mess- und Automationstechnik auf Biogasanlagen ist umso verwunderlicher, wenn man bedenkt, wie viel Automations- und Sicherheitstechnik bereits in den Gütern unseren täglichen Bedarfs vorhanden ist (Tabelle 1): Obwohl die Kosten für einen PKW nur einen Bruchteil der Investitionskosten einer Biogasanlage ausmachen, die Beanspruchung einer Biogasanlage ungleich höher ist als bei einem PKW und Unfälle auf einer Biogasanlage nicht nur erhebliche Personenschäden, sondern auch finanzielle Schäden - bis hin zur Gefährdung der wirtschaftlichen Existenz - zur Folge haben können, verzichten viele Biogasanlagenbetreiber sogar auf ein Mindestmaß an Sicherheitseinrichtungen, wohingegen sie vermutlich heute kein Auto mehr kaufen würden, das nicht über Mindestsicherheitsstandards verfügt.

Vom Blickpunkt der Mess- und Automationstechnik aus, entsprechen somit die meisten heutigen Biogasanlagen nach wie vor Blackbox-Systemen, da keine oder nur wenige Prozessinformationen zur Verfügung stehen: Die Praxis zeigt, dass daher viele Biogasanlagen suboptimal arbeiten, was wiederum die Gefahr einer Prozessstörung erhöht (WIESE, 2014).

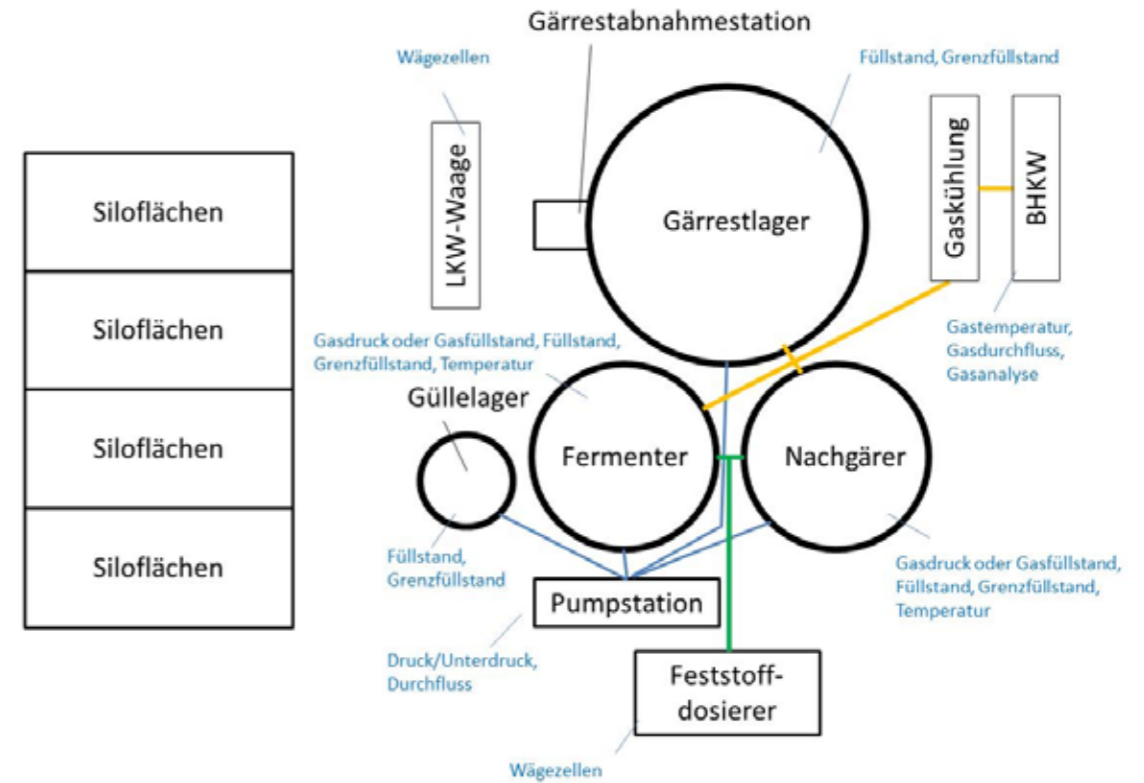


Abbildung 1: Die messtechnische „Höchstausstattung“ einer derzeitigen Biogasanlage (WIESE, 2014)

Warum Mess- und Automationstechnik auf Biogasanlagen?

Der Betrieb von Biogasanlagen wird immer komplexer, da mittlerweile nicht mehr nur eine Maximierung der Stromproduktion angestrebt wird, sondern zunehmend multikriterielle Optimierungsprobleme zu lösen sind (WIESE, 2014):

- Maximierung der Energieproduktion
- Maximierung der Durchsatzleistung
- Minimierung der Roh- und Betriebsstoffe
- Verwendung verschiedener Eingangsstoffe
- Minimierung der Betriebsrisiken
- Minimierung des Eigenenergiebedarfs
- Minimierung des erforderlichen Arbeitseinsatzes
- Vermeidung von Havarien
- Erhöhung der Arbeits- und Anlagensicherheit
- Dokumentation des Anlagenbetriebs
- Erhöhung der Einnahmen
- Erhöhung der Einnahmen
- Vermeidung baulicher Erweiterungen
- Reduzierung der Ausgaben
- Nutzung von Marktchancen
- hohe Anlagenverfügbarkeit/ -auslastung
- Reduzierung der Ausgaben
- Reduzierung der Ausgaben
- keine Emissionen und Leckagen
- Einhaltung von Vorschriften
- Einhaltung von Vorschriften

Komplexe Probleme lassen sich jedoch nicht mehr nur alleine durch den „Einsatz des gesunden Menschenverstands“ lösen, umfangreiche Daten nicht mehr alleine per Hand dokumentieren. Hierzu bedarf es des Einsatzes von moderner Mess- und Automationstechnik.

Tabelle 1: Vergleich einer Biogasanlage mit einem PKW bzgl. Kosten/Nutzen, Sicherheitsaspekten und Gefährdungspotenzial (WIESE, 2014)

Parameter	PKW	Biogasanlage
Investitionskosten	i.d.R. < 100.000 €	i.d.R. > 1.000.000 €
Laufdauer Motor pro Jahr	i.d.R. < 500 h/a	i.d.R. > 7.500 h/a
Einnahmen pro Jahr	i.d.R. keine Einnahmen	i.d.R. > 400.000 €/a
Gesamtkosten	i.d.R. < 20.000 €/a	i.d.R. > 350.000 €/a
Nutzungsdauer	12 Jahre	20 Jahre kalkuliert
Intensität der Belastung	Selten am Limit (Motor und Fahrwerk meist unterlastet)	Motor und/oder Biologie oft am Limit betrieben
Zugangsvoraussetzung	Führerschein	Keine
Erforderliche Substrate	i.d.R. < 3 t Kraftstoff	i.d.R. > 5.000 t Gärsubstrate
Sicherheitseinrichtungen (nur Standardausstattung)	Sicherheitsgurt Knautschzone Airbag Anti-Blockier-System (ABS) Anti-Schlupf-Regelung (ASR) Elektronisches-Stabilitäts-Programm (ESP)	(Gasanalysator) Gaswarngerät Über-/Unterdrucksicherung
Gefahr bei Unfall	Personenschäden (Verletzung/Tod)	Personenschäden (Verletzung/Tod) Umweltschäden
Auswirkungen bei (dauerhaften) Betriebsstörungen	gering, da Alternativen (z. B. Leihwagen/ÖPNC) möglich	hoch (ggf. Insolvenz des BGA-Betreibers)

Tabelle 2: Wirklinien von Messgeräten auf Biogasanlagen

Messwert	Nutzen (Auswahl)
Durchfluss	Abschätzung der hydraulischen Verweildauer, Massenbilanzen, Sicherstellung einer ausreichenden Güllezugabe zwecks Erlangung des Güllebonus nach EEG, Grundlagen für Stoffstrombilanzen, Dokumentation der abgegebenen Gärreste
Wägezellen	Gewichtsbezogene Fütterung der Anaerobreaktoren, Grundlage für Stoffstrombilanzen und die Ermittlung wichtiger Kennziffern (z. B. Raumbelastung)
TS, oTS	Manipulation der Rührwerke (Takt, Leistung, Niveau) bzw. Pumpen (Leistung), Überwachung der flüssigen Inputstoffe und der Reaktoren, Manipulation der Rezirkulation und Frischgüllezugabe, ggf. in Kombination mit TS/ oTS-Erfassung der verworgenen Feststoffe → Energiebezogene Fütterung, TS-Bestimmung im Gärrest (Abschätzung Abbaugrad), Grundlagen für Stoffstrombilanzen
pH, Redox, Leitfähigkeit	Überwachung der flüssigen Inputstoffe bzw. der Prozessstabilität, Manipulation der Rezirkulation bzw. der Güllezugabe, Manipulation der Feststoffdosierung
Füllstand (Flüssigkeit)	Überfüllsicherung, Leckage-Erkennung, Abschätzung der hydraulischen Verweildauer (ggf. in Kombination mit der Verwiegung der Eingangsstoffe), Bestimmung der Eintauchtiefe von Tauchmotorrührwerken
Druck (+/-) (flüssig)	Überwachung der Pumpen (z. B. Druckstöße)
Temperatur	Prozessüberwachung, Heizungsregelung für Fermenter und Nachgärer
Org. Säuren, FOS, NH4-N, TAC	Können auch als Labordaten in Automationskonzepte integriert werden: Überwachung der Prozessstabilität (ggf. in Kombination mit pH/Temperatur), Manipulation der Rezirkulation bzw. Güllezugabe und der Feststoffdosierung

Welche Mess- und Automationsgeräte kommen zum Einsatz?

Der Einsatz von Online-Messgeräten dient nicht nur der Überwachung wichtiger Prozessgrößen, sondern gestattet oft auch deren Einbindung in Steuerungs- und Regelungskonzepte. Aber auch Parameter, die sich bisher nicht oder mit hohen Kosten in Echtzeit erfassen lassen, können integriert werden. So ist es möglich, Laborwerte über Handeingaben auf Leitsystemebene zu berücksichtigen. Die Tabellen 2 bis 4 basieren dabei auf KTBL (2007) und wurden mit eigenen Erfahrungen und Überlegungen des Autors durch zusätzliche Messgeräte und Anwendungen ergänzt (WIESE & KÖNIG, 2009a).

Beispiele für den Einsatz von Mess- und Automationstechnik

Die nachfolgenden Beispiele stellen nur einen kleinen Ausschnitt möglicher Applikationen aus dem Bereich der Mess- und Automationstechnik dar; andere Beispiele finden sich in (WIESE, 2014).

Prozesskontrolle

Abbildung 2 verdeutlicht die Möglichkeiten einer kontinuierlichen Prozesskontrolle (z. B. pH, Redox, Leitfähigkeit, TS) anhand einer weitgehend störfreien Inbetriebnahme einer Biogasanlage: Der Fermenter wurde zunächst mit etwas Frischgülle und dem Biogassubstrat einer benachbarten Trockenfermentationsanlage aufgefüllt. Ferner wurde et-

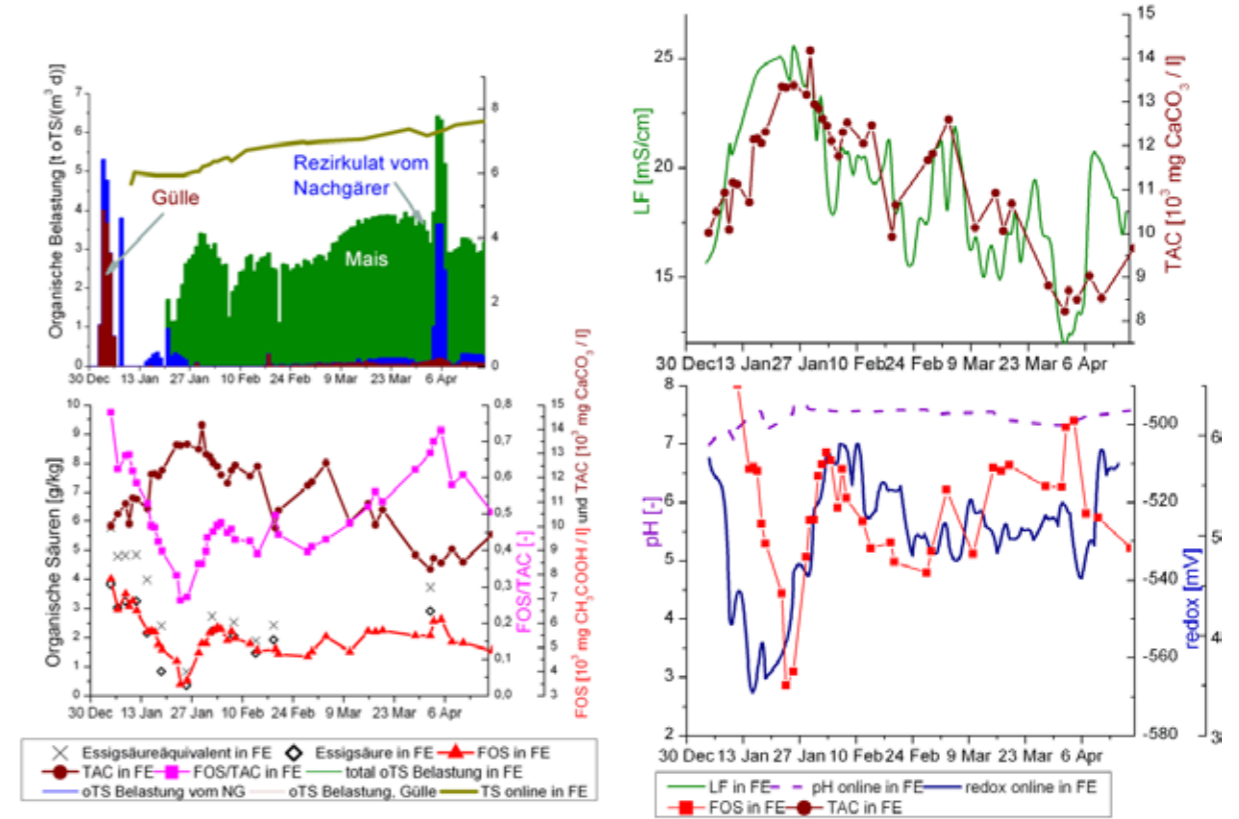


Abbildung 2: Prozessüberwachung auf Basis diverser Online-Messungen und ergänzender Labormessungen (WIESE et al., 2008)

was Gärsubstrat aus dem Nachgärer, welcher aufgrund der Bauablaufplanung bereits etwa zwei Wochen zuvor in Betrieb genommen wurde, in den Fermenter zurückgepumpt. Aufgrund der hohen Konzentration organischer Säuren (ca. 10.000 mg/L) des Animpfmateri als aus der Trockenfermentationsanlage wurde beschlossen, die Zugabe der Maissilage erst dann zu starten, wenn die Konzentration an organischen Säuren signifikant abgenommen hat. Bis zum 20. Januar resultierte aus dieser Vorgehensweise ein deutlicher Rückgang der Essigsäurekonzentration und des FOS-Wertes bzw. ein Anstieg des TAC-Wertes. Besonders interessant ist, dass die Konzentration des FOS-Wertes gut mit dem Redox-Wert bzw. der Verlauf des TAC-Wertes gut mit dem Verlauf der Leitfähigkeit korreliert; dies gilt mit leichten Abweichungen für die gesamte Dauer des betrachteten Auswertzeitraums.

Ab dem 20. Januar wurde mit der Fütterung der Maissilage in den Fermenter begonnen. Hierbei ist beachtenswert, dass die online gemessene TS-Konzentration im Verlauf der vier Monate kontinuierlich bis zum Erreichen des Zielwertes von ca. 8 % TS ansteigt. Ein jeweils kurzfristiges Absinken des TS-Wertes kann mit der Zugabe von Frischgülle, einer Rezirkulation aus dem Nachgärer oder einer Rücknahme der Feststofffütterung plausibel erklärt werden. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass ein TS-Sensor nicht nur zur kontinuierlichen Überwachung der Fermenterfütterung, sondern auch zur TS-abhängigen Ansteuerung der Rührwerke eingesetzt werden kann, da bei niedrigen TS-Werten die Rührleistung entsprechend angepasst werden kann. Interessant ist auch der Zeitraum zwischen Ende März und Anfang April: Die dauerhaft hohe Fermenter-Belastung führt zu einem starken Anstieg des FOS/TAC-Wertes auf Werte von bis zu 0,75; der Trend wurde auch durch die Leitfähigkeitsmes-

sung detektiert. Durch Erhöhung der Frischgülle- und Rezirkulatmenge konnte eine Störung jedoch rechtzeitig abgewendet werden.

Condition Monitoring

Die Zustandserfassung der Maschinenteknik in Echtzeit ist ein Themenkomplex, der in der Biogastechnik erst am Anfang steht, obwohl es hier ein hohes Optimierungspotenzial und zahlreiche Ansatzpunkte gibt. Ein Beispiel wird in Abbildung 3 vorgestellt: Die Praxis zeigt, dass der Einsatz bestimmter Stoffe zu Problemen mit den Schiebern führen kann (z. B. Verstopfungen). Durch den Einsatz von größeren Mengen von Grünroggensilagen kam es nach einer gewissen Zeit zu einer Störung eines Pneumatikschiebers. Ursache hierfür waren Silageteilchen, die sich in der Schiebernert festgesetzt hatten, sodass er sich nicht mehr ord-

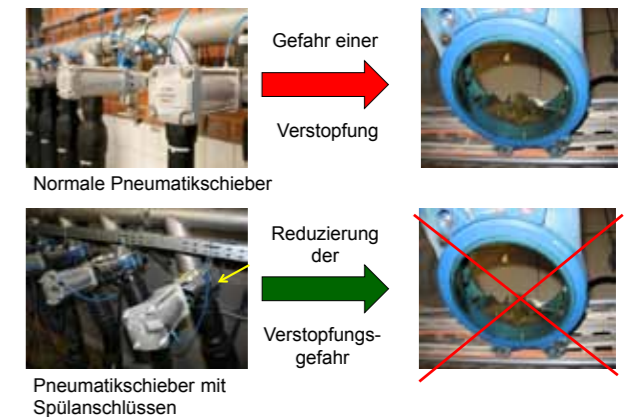


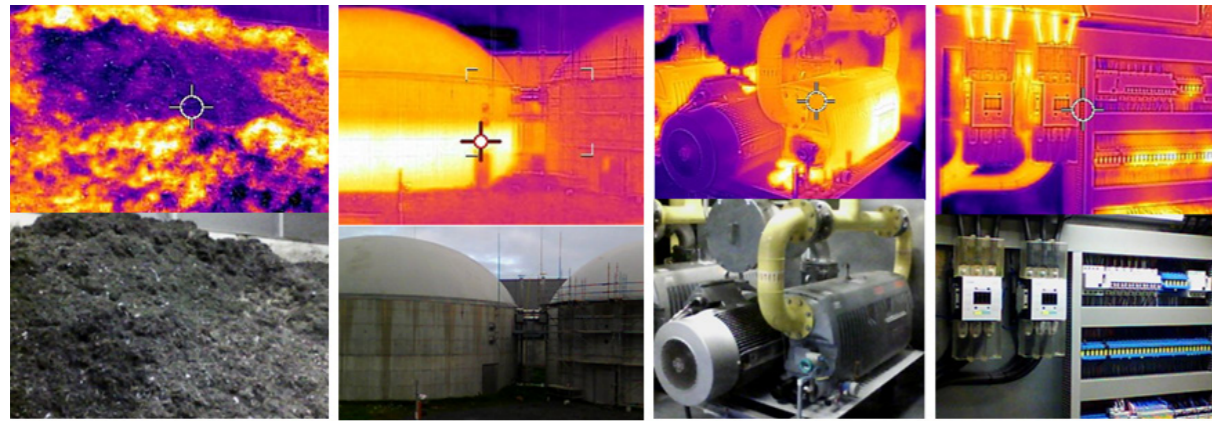
Abbildung 3: Pneumatikschieber mit Spülanschlüssen und ohne Spülanschlüsse (WIESE & KÖNIG, 2009b)

Tabelle 3: Wirklinien von Messgeräten auf Biogasanlagen im Gasbereich

Messwert	Nutzen (Auswahl)
Gasdruck	Ansteuerung des Motors, Manipulation der Substratdosierung (z. B. Zugabe leicht abbaubarer Stoffe), Sicherheitsfunktion (z. B. Alarmierung beim Anspringen der Über-/ Unterdrucksicherungen)
Gasfüllstand	Ansteuerung des Motors, Manipulation der Substratdosierung
CH ₄ , CO ₂	Überwachung der Prozessstabilität, Motorenansteuerung (CH ₄)
O ₂ , H ₂ S	Steuerung/Regelung der biologischen Entschwefelung, Dosierung von Fällmitteln zur H ₂ S-Reduktion
Gasdurchfluss	Überwachung der Prozessstabilität, Manipulation der Substratdosierung, ggf. Normierung mit Gasdruck/-temperatur
Spezifischer Gasdurchfluss	Abschätzung der spezifischen Gasbildungsrate in Abhängigkeit des Gasdurchflusses und der dosierten Gärsubstrate (z. B. in Kombination mit Wägezellen)
Ex-Gase, H ₂ S	Ex-Abschaltung, Detektion toxischer Gase, Ansteuerung von Raumlüftern

Tabelle 4: Wirklinien von Messgeräten auf Biogasanlagen (Sonstiges)

Messwert	Nutzen (Auswahl)
Dichte (auch indirekt)	Manipulation der Rührwerke, des Rezirkulats, der Frischgüllezugabe und der Feststoffdosierung
Strömung	Manipulation der Rührwerke
Stromaufnahme Rührwerke	In Einzelfällen Rückschlüsse auf Viskosität möglich
Stickstoff, Kalium, Phosphor	Bestimmung des Düngewertes im Gärrest, in Kombination mit einer Durchflussmessung für eine marktgerechte Bewertung der abgegebenen Gärreste
LKW-Waage	Verwiegung der eingehenden und ausgehenden Stoffe, Grundlage für Stoffstrombilanzen, in Kombination mit TS/Futterwert-Bestimmung eine Grundlage für eine energiegehaltbezogene Vergütung der Substrate
Wetterstation	„Beweissicherung“ bei der Gefahr einer Geruchsbelästigung der Nachbarschaft, Einbindung in Prozesssteuerung (bei starken Gasdruckschwankungen im Tagesrhythmus, bei Foliendächern bzw. bei Wetterumschwung)
Video	Überwachung problematischer Bereiche, Bauwerke, Fermenter o. ä.
Endlagen	Überwachung der Schieber, ggf. automatische Spülung der Schieber
Energie (Strom/Wärme)	Strom- und Wärmeproduktion/-verbrauch → Energiebilanzen; Verbrauch wichtiger Einzelverbraucher → Optimierung des Energieverbrauchs



Bioabfall

Gärrestlager

Vakuumpumpe

Schaltschrank

Abbildung 4: Einsatz einer Wärmebildkamera zur Prozesskontrolle auf einer anaeroben Bioabfallbehandlungsanlage

nungsgemäß schließen ließ. Da der Aus- und Wiedereinbau eines Schiebers eine zeitaufwändige Arbeit ist, wurde nach Alternativlösungen gesucht: Eine brauchbare Lösung ist der Einsatz von Schiebern mit Spülanschlüssen, die es gestatten, die neuralgischen Punkte der Schieber händisch oder automatisch zu spülen. Die Mehrkosten für derartige Spüleinrichtungen sind überschaubar. Da bei Automatikschiebern sowohl die Endlagen als auch die Dauer zum Öffnen und Schließen der Schieber überwacht werden können, kann bei Bedarf eine Spülung automatisch veranlasst werden (WIESE & KÖNIG, 2009b).

Ein weiteres Beispiel für Condition Monitoring zeigt Abbildung 4: Auf einer anaeroben Bioabfallbehandlungsanlage setzt der Autor eine Wärmebildkamera ein, um die Eingangsstoffe, Bauteile, Maschinen und elektrotechnische Bauteile regelmäßig zu kontrollieren.

Video-Überwachung eines Fermenters

Eine optimale Durchmischung eines Reaktors ist eine Voraussetzung für einen effizienten Anlagenbetrieb. Ferner können sowohl betriebliche Probleme (z. B. Schwimmschichten) als auch biologische Probleme (z. B. Schaumbildung) optisch-visuell an der Grenzfläche zwischen Flüssigkeit und Gasphase, d. h. der Oberfläche des Anaerobreaktors, abgelesen werden und lassen damit früher Rückschlüsse auf sich abzeichnende Probleme zu. Die übliche Vorgehensweise ist daher eine tägliche Sichtkontrolle durch Schaugläser. Die Praxis zeigt jedoch, dass diese Vorgehensweise mit zahlreichen Problemen behaftet ist, wie eine schlechte Ausleuchtung des Reaktors, witterungsbedingte Störeinflüsse und keine Möglichkeit der Ferndiagnose. Daher kann zwecks Überwachung des Fermenters eine Ex-Zonen-Videokamera installiert werden; eine Anbindung an das Leitsystem ist möglich. Jedoch lassen die Investitionskosten (> 7.000 €) den Einsatz nur in Einzelfällen wirtschaftlich erscheinen (WIESE, 2012).



Abbildung 5: Überwachung eines Fermenters mit einer Ex-Zonen-Videokamera (c) mit Weitwinkel- (a) und Zoom-Funktion (b), (WIESE et al., 2008)

Zusammenfassung und Ausblick

Der Einsatz umfangreicher Messtechnik macht aus dem "Black-Box-System" Biogasanlage ein sehr viel transparenteres System, was die Anlagenverfügbarkeit und den Auslastungsgrad deutlich erhöhen kann. Der Stand der Mess- und Automationstechnik erlaubt bereits heute eine Automation auf hohem Niveau; es sind technisch auch komplexe Steuerungs- und Regelungskonzepte realisierbar. Messgeräte müssen jedoch gewartet und kontrolliert werden. Eine analytische Qualitätssicherung der Messgeräte ist daher wichtig, wenn die Daten zur Steuerung und Regelung verwendet werden. Hier gibt es noch erhebliche Defizite, sodass die Betreiber zukünftig stärker geschult und für mögliche Probleme sensibilisiert werden müssen. In diesem Zusammenhang muss auch an einer Verbesserung der Mensch-Maschine-Kommunikation gearbeitet werden.

Danksagung

Der Autor dankt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Alexander Fay, Institut für Automatisierungstechnik, Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr, Hamburg, für die konstruktive Zusammenarbeit der letzten Jahre und die Betreuung meiner Habilitation.

Literaturverzeichnis

- Weiland P. (2008): Wichtige Messdaten für den Prozessablauf und Stand der Technik in der Praxis, 15. November 2007, Convention Center Messe Hannover, abgedruckt in Messen, Steuern, Regeln bei der Biogaserzeugung, Gülzower Fachgespräche, Band 27, Gülzow, S. 17-31.
- Wiese J. (2014): Transparente Prozessüberwachung von Biogasanlagen und Kläranlagen durch Einsatz moderner Mess- und Automationstechnik, Habilitationsschrift, 2014, Fakultät Maschinenbau, Helmut-Schmidt-Universität der Bundeswehr Hamburg (Druck in Vorbereitung).
- KTBL (Hg.) (2007): Faustzahlen Biogas, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., Darmstadt - ISBN 978-3-939371-46-5
- Wiese J.; König R. (2009a): From Challenges to Opportunities - Intensive use of instrumentation, control and automation on full-scale biogas plants, Proceedings, IWA-ICA-Conference 2009, Cairns.
- Wiese J.; Kujawski O.; König R.; Dickmann K. (2008): Instrumentation, Control and Automation for Biogas Plants - Three Full-Scale Examples. Proceedings, IWA-Congress „Anaerobic Digestion of biosolids and energy crops“, 2008, Hammamet.
- Wiese J.; König R. (2009b): From a black-box to a glass-box system - The attempt towards a plant-wide automation concept for full-scale biogas plants, Tagungsband und Foliensatz, IWA-ICA-Conference 2009, Cairns.
- Wiese J. (2012): Mess- und Automationstechnik auf Biogasanlagen aus Sicht eines Planers, Erbauers und Betreibers. 2. VDI-Konferenz „Prozessmesstechnik an Biogasanlagen“, Fulda, Tagungsband, 9./10. Oktober 2012, Fulda.



Foto: A. Zehndorf, UFZ

Praxistaugliche Gegenmaßnahmen bei Schaumbildung



Das Unternehmen Biogas - Additive.de GmbH & Co. KG wurde 2010 gegründet und vertreibt schwerpunktmäßig Enzymkomplexe und Spurennährstoffe zur Erhöhung der Effizienz von Biogasanlagen. Die Einzelprokuristin und Verkaufsführerin des Unternehmens, Dipl.-Ing., M.Sc. Dorothea Telschow, beschäftigt sich seit dem Jahr 2000 mit Biogasprozessen und hat langjährige Praxiserfahrungen bei der Betreuung von Biogasanlagen. Sie berichtet über ihre Erfahrungen mit der Schaumbildung im Biogasfermenter.

Das Interview führte Lucie Moeller.

Welche Erfahrungen haben Sie als Beraterin im Biogasbereich mit der Schaumbildung im Biogasfermenter?

Dorothea Telschow: Schaum ist nicht gleich Schaum, die Ursachen für die Schaumbildung sind vielfältig. Schaumprobleme treten oft plötzlich ohne erkennbare Ursache auf und verschwinden auch wieder scheinbar von allein. Dies macht es schwierig, die Ursache dafür zu finden. Oft tritt die Schaumbildung bei Substratwechseln oder jahreszeitlich bedingten Temperaturschwankungen auf.

Nach grober Schätzung haben nur 5 - 10 % der 500 mir bekannten oder von mir betreuten Biogasanlagen chronische Schaumprobleme. In fast jeder Anlage tritt allerdings ab und zu Schaum auf, der dann aber wieder verschwindet, oft auch ohne bewusste Gegenmaßnahmen.

Können Sie aus Ihrer Sicht die Ursachen der Schaumbildung beschreiben?

Dorothea Telschow: Die Voraussetzung für die Schaumbildung ist der Gasaustritt aus der Flüssigphase bei gleichzeitiger Bildung von polymeren Strukturen in der Flüssigphase. Diese polymeren Strukturen werden durch Eiweiße und Schleimstoffe, Polysaccharide, gebildet. Die Ursachen der Schaumbildung in einer Biogasanlage sind vielschichtig. Viele Faktoren spielen hier eine Rolle – Übersäuerung, Substrate, Betriebsbedingungen...

Welche Rolle spielt die Übersäuerung bei der Schaumbildung?

Übersäuerungsgefahr besteht bei hohem Anteil an leicht verfügbaren Zuckern, wie zum Beispiel bei Getreide, Zuckerrüben oder Reststoffen aus der Zuckerrübenverarbeitung, aber auch durch Zugabe von Silosickersaft, der sehr sauer ist und eine geringe Pufferkapazität hat. Übersäuerung kann auch lokal begrenzt auftreten durch Unterrühren von frischen Einsatzstoffen, Schwimmschichten oder Klumpen.

Sie haben von Substraten gesprochen. Welche Substrate spielen Ihrer Meinung nach bei der Schaumbildung eine Rolle?

Dorothea Telschow: Schaumbildung wird häufig auch beim Substratwechsel beobachtet. Bei Ersatz von Weizenschrot durch Roggenschrot kann es zur Schaumbildung kommen, da Roggen Schleimstoffe enthält. Aus meiner Erfahrung können auch Hefen Schaumbildung hervorrufen. Diese können in der Gülle auftreten, wenn Rinder mit Biertreber oder Hefen gefüttert werden, oder wenn diese Substrate direkt in die Biogasanlage gelangen. Hefen kommen aber auch in Silagen vor, wo sie sich bei einer schlechten Silierung vermehren können. Sie werden besonders im Winter für die Schaumbildung verantwortlich gemacht, da sie teilweise schon bei niedrigen Temperaturen ihr Temperaturoptimum haben. Hefen können schaumaktive Substanzen bilden, die aber im Fermenter nicht nachweisbar sind und bis auf die Schaumbildung keine negative Auswirkung auf den Biogasprozess haben. Weiterhin können bei der Schaumbildung auch Tenside eine wesentliche Rolle spielen, die bei der Stallreinigung verwendet werden. Diese gelangen dann mit der Gülle in die Biogasanlage.

Sie erwähnten Betriebsbedingungen als Schaumursache. Welche sind es denn?

Dorothea Telschow: Ich meine damit eine plötzliche Erhöhung der Temperatur im Fermenter. Diese hat eine Senkung der Gaslöslichkeit zu Folge, Gasblasen steigen auf und bilden bei gleichzeitigem Vorhandensein von polymeren Strukturen in der Flüssigphase Schaum. Dies ist beispielsweise zu beobachten, wenn vorvergorene, stark mit Gasen angereicherte Substrate aus einer kalten Hydrolysestufe mit Temperaturen unter 30 °C in den warmen Fermenter mit der Temperatur von über 40 °C gelangen.

Was sind die Folgen der Schaumbildung in der Praxis?

Dorothea Telschow: Die Schaumbildung ist kein biologisches Problem im engeren Sinne, führt aber im Anlagenbetrieb oft zu erheblichen Störungen, da der Schaum in die Gasleitungen gelangt oder die Füllstandsanzeige beeinflusst. Auch die visuelle Beurteilung des Gärprozesses durch das Sichtfenster wird durch den Schaum an der Oberfläche erschwert.

Wie ist die Wirkungsweise Ihrer Enzympräparate? Sind sie bei extremen Schaumereignissen einsetzbar?

Dorothea Telschow: Das von uns angebotene hydrolytisch wirkende Enzympräparat ZYmaXX® XL 200 enthält überwiegend Cellulose- und Hemicellulose-spaltende Enzyme, die den Abbau von Cellulose und Hemicellulose beschleunigen und sehr schnell zu einer Viskositätsverringerung im Fermenter führen. Ob dies die Schaumbildung beeinflussen kann, lag bisher nicht im Fokus der Beobachtungen. Unser speziell für die Vergärung von Getreide-Ganzpflanzensilage (GPS) neu entwickeltes Enzympräparat ZYmaXX® GPS enthält neben Cellulose- und Hemicellulose-spaltenden Enzymen verstärkt Enzyme, die Pektine, Pentosane und β -Glucane abbauen. Diese Verbindungen sind in der GPS in höheren Mengen enthalten und führen zur Verschleimung und Verdickung des Fermenterinhalt, können also auch potenziell für die Schaumbildung mit verantwortlich sein. Da dieses Enzympräparat neu am Markt ist, liegen noch

Wie wird die Schaumbildung Ihrer Meinung nach am effektivsten bekämpft?

Dorothea Telschow: Man muss mit Gegenmaßnahmen auf übermäßige Schaumbildung reagieren. Es ist darauf zu achten, ob der Schaum grobporig oder feinporig ist. Der grobporige Schaum kann eventuell durch Tenside entstanden sein. Als Erste-Hilfe-Maßnahme hilft insbesondere beim grobporigen Schaum das Versprühen von Rapsöl auf die Schaumoberfläche. Hier muss aber berücksichtigt werden, dass bei großen Mengen an Rapsöl oder Biodiesel der NawaRo-Bonus gefährdet wird! Wenn die Öl-Zugabe nicht wirkt, können spezielle am Markt angebotene Antischaummittel eingesetzt werden. Diese sollten silikonfrei sein, weil silikonhaltige Antischaummittel im BHKW Siloxane bilden. Darüber hinaus sollten Substrate, die für die Schaumbildung verantwortlich sein könnten, wie hefehaltige Substrate, Roggenschrot, eiweißhaltige Substrate, weggelassen oder deren Anteil reduziert werden. Bei chronischer Schaumbildung ist es notwendig, die Ursache der Schaumbildung zu finden und Gegenmaßnahmen einzuleiten statt kosmetischer Schaumbekämpfung.

keine Erkenntnisse bezüglich der Wirkung auf die Schaumbildung vor. Prinzipiell ist auch der Einsatz von Eiweißspaltenden Enzymen (Proteasen) zur Schaumbekämpfung denkbar. Dazu liegen erste Laborversuche vor, aber noch keine gesicherten Erkenntnisse. Das Problem bei der Schaumbekämpfung besteht immer darin, dass die Ursache für die Schaumbildung bekannt sein muss, um gezielte Gegenmaßnahmen treffen zu können.

Danke für das Interview.

Biogasanlage Zschettgau

der Landgut Zschettgau GmbH

Die Biogasanlage wurde 2006 gebaut, um Schweinegülle des Zschettgauer Betriebs zu verwerten.



Im Jahr 2012 fand in beiden Fermentern vier Monate lang eine starke Schaumbildung statt. Der Anlagenfahrer gab an, dass die Schaumschicht während eines Tages bis zu vier Meter Höhe erreichte. Die Schaumbildung war so stark, dass die Mitarbeiter die Anlagen auch nachts kontrollieren mussten. Einige Male war die Gasleitung verstopft, sodass diese aufwendig gereinigt werden musste. Leider passierte dies meistens nachts oder an Wochenenden, sodass die Mitarbeiter gezwungen waren, vermehrt Überstunden zu machen. Die Situation war angespannt, weil die Ursache der Schaumbildung nicht identifiziert werden konnte. Am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung wurde der Ursache des Schaumproblems nachgegangen. Die chemischen Analysen zeigten einen stabilen Biogasprozess. Die Schaumtests bewiesen eindeutig, dass Triticaleschrot das übermäßige Schäumen verursachte. Nachdem dieses Substrat aus dem Substratmix ersetzt wurde, verschwand auch der Schaum.



Holger Hennig (Anlagenfahrer):
„Wenn wir einen Tag lang nichts gegen den Schaum unternehmen würden, wäre er 4 m hoch.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

500 kW_{el}

Struktur der Anlage:

- 1 Hydrolysefermenter (200 m³)
- 2 Hauptfermenter (Arbeitsvolumen á 800 m³)
- 2 abgedeckte Gärrestlager
- 2 x 300m³ Gasspeicher im Fermenterdach

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

Paddelrührwerk mit drei Paddeln im Hydrolysebehälter, ein Fallschachtrührwerk und ein Tauchrührwerk im Fermenter

Jährlicher Substrateinsatz:

- 3.718 m³ Schweinegülle,
- 2.038 t Getreideschrot (Weizen, Roggen, Triticale),
- 1.194 t Feuchtmals (Maisschrot),
- 526 t Maissilage,
- 324 t Futterroggensilage,
- 70 t Zuckerrüben

Organische Raumbelastung:

5-6 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Retentionszeit:

38 d

Entschwefelung:

Zugabe von Eisen(II)-hydroxid

Gasnutzung:

Gasmotor-BHKW mit kontinuierlicher Teillast

Abwärmenutzung:

Schweinemast und -zucht, Werkstatt, Sozialgebäude, 1 Einfamilienhaus

Biogasanlage Schwabach

der Firma Bioenergie-Bayern GmbH & Co. KG

Mit verändertem Einsatzstoffkonzept wird die Anlage seit 2010 erfolgreich privatwirtschaftlich geführt.



Die Biogasanlage Schwabach wurde als eine der ersten Anlagen nach dem Bio-Stab-Verfahren in den Jahren 1995-1997 mit dem Zweck der Vergärung kommunal getrennt erfasster Bioabfälle errichtet und im Jahr 1997 in Betrieb genommen. Herzstück der Anlage ist die ehemalige Kläranlage der Stadt Schwabach und mit ihr die beiden Faultürme, die aus den Jahren 1958 und 1964 stammen und die nach einer kurzen Aufarbeitung im Jahr 1997 heute noch immer als die beiden Fermenter der Biogasanlage dienen. Die Schaumbildung hat die Biogasanlage Schwabach bis 2013 sehr häufig heimgesucht. Im Allgemeinen wurden als Schaumursache folgende Substrate identifiziert:

- Molkereiabwasser,
- Hefe,
- Hustenbonbons,
- Stärke,
- einige Fettsäureesterinhalte.

Die Probleme mit Schaumbildung traten verstärkt auf, wenn die Gasdurchmischung nicht funktionierte. Der Schaum wurde zunächst mit Hilfe von Rapsöl bekämpft, das später durch den Einsatz von biologisch abbaubaren Entschäumungsmitteln ersetzt wurde. Nachdem die Fermenter mehrmals überschäumten, wurden auf dem Fermenterdach Schaumauffangköpfe installiert, die den austretenden Schaum auffangen sollten. Durch den behutsamen Umgang mit potenziell schäumenden Substraten (langsame Dosierung über längere Zeit) und die Reparatur der Gaseinpressung zu Mischzwecken wurden die Schaumprobleme beseitigt.



Patrick Pfeffer:
„Die Schaumbildung beeinträchtigte uns so sehr, dass wir auf dem Fermenterdach Schaumauffangköpfe installiert haben.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

861 kW_{el}

Struktur der Anlage:

- Nachstrom-Hygienisierung (12 m³)
- 2 Hauptfermenter (Volumen: á 1000 m³)
- 1000 m³ Gasspeicher

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

kontinuierliche Gaseinpressung und Faulschlammumwälzung

Jährlicher Substrateinsatz:

- 10.500 t Co-Fermente (52 % Küchen- und Kantinenabfälle (Gewerblicher Speiseabfall), 19 % Inhalte von Fettscheidern und Flotale, 14 % pflanzliche Stoffe (Lebens- und Futtermittelherstellung), 9 % Teigabfälle, 5 % Heil- und Gewürzpflanzenrückstände, 1,5 % Rückstände aus der Verarbeitung pflanzlicher Stoffe, 0,2 % Schlämme, Flotale u. Fugate - Molkereiabwässer)

Organische Raumbelastung:

2,8 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Retentionszeit:

~ 70 d

Entschwefelung:

Zugabe von Eisen(II)-chlorid

Gasnutzung:

3 BHKWs

Abwärmenutzung:

180 Haushalte, Gärresttrocknung

Biogasanlage Ochelmitz

der Agrargenossenschaft eG Jesewitz

Bei der 2006 gebauten Biogasanlage war fein gemahlener Triticaleschrot der Auslöser für die Schaumbildung.



Die Biogasanlage Ochelmitz wurde 2006 als reine NawaRo-Anlage gebaut. Allerdings stellte sich heraus, dass die Anlage ohne Gülle nicht stabil laufen kann. Aus diesem Grund wird Schweinegülle zugekauft. Im Jahr 2010 wurde zum Zweck der Abwärmenutzung eine Fischzucht mit afrikanischen Welsen angelegt, deren Abwässer wiederum in der Biogasanlage verwertet werden.

Die Schaumbildung dauerte etwa sechs Monate. Aufgrund der starken Schaumentwicklung musste der Füllstand im Fermenter dauerhaft um 20 % abgesenkt werden. Wenn die Schaumschicht im Biogasfermenter zu stark war, wurde Rapsöl als Entschäumer zugesetzt. Die Anlage wurde auch nachts kontrolliert. Einmal musste die Überdrucksicherung gereinigt werden, weil sie durch Schaum verunreinigt war. Als Ursache wurde die Nutzung von Getreideschrot (Triticale) zur Biogasproduktion identifiziert. Nachdem das Getreide nicht mehr fein gemahlen, sondern lediglich gequetscht wird, gibt es keine starke Schaumbildung mehr.



Holger Hennig (Anlagenfahrer):
„Seitdem wir das Getreide quetschen, können wir das volle Fermentervolumen nutzen.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

600 kW_{el}

Struktur der Anlage:

- 1 Hauptfermenter (Arbeitsvolumen: 1.400 m³)
- 1 Nachgärer (1.400 m³)
- 2 abgedeckte Gärrestlager
- 4 x 400 m³ Gasspeicher im Fermenterdach

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

Fermenter: Paddelrührwerk und Tauchmotorrührwerk, Nachgärer und Gärrestlager á 2 Tauchmotorrührwerke

Jährlicher Substrateinsatz:

5.475 m³ Fischgülle,
3.585 m³ Schweinegülle, 1.886 t Getreide (Triticale),
1.230 t Maissilage, 317 t Futterroggensilage,
998 t Feuchtmais (Maisschrot), 773 t Rüben

Organische Raumbelastung:

5 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Retentionszeit:

90 d

Entschwefelung:

biologische Entschwefelung im Fermenter,
Aktivkohlefilter

Gasnutzung:

Gasmotor-BHKW mit kontinuierlicher Volllast

Abwärmenutzung:

Zucht von afrikanischen Welsen, Werkstatt,
Getreidetrocknung, Schweinestall und 17 Eigenheime

Biogasanlage Rosental

der Kommunale Wasserwerke Leipzig GmbH

Seit 2006 gewinnt das größte Leipziger Klärwerk Energie aus Biogas.



Die KWL versorgt die Menschen der Region Leipzig mit Trinkwasser und entsorgt deren Abwasser. Das Klärwerk Rosental ist die bedeutendste Kläranlage Leipzigs: Täglich werden dort rund 110.000 Kubikmeter Abwasser umweltgerecht behandelt. In Faultürmen der zum Klärwerk gehörenden Biogasanlage, seit 2006 in Betrieb, werden der Vorklär- und der Überschussschlamm vergoren.

Die Faulschlämme schäumen seit der Inbetriebnahme der Faultürme. Vermehrte Schaumbildung wurde nach der Einführung der Co-Vergärung von Fettsäureabscheiderhalten beobachtet. Vor allem im Winter verstärkt sich die Schaumbildung. Zur Ermittlung der Schaumhöhe dienen Radare in den Faulturmköpfen. Durch deren Einbindung in das Prozessleitsystem werden im Fall einer verstärkten Schaumbildung automatisch Wasser und bei Bedarf Entschäumer auf die Oberfläche des Faulschlammes versprüht.



Peter Wirth (Verfahrenstechniker Schlammbehandlung):
„Wegen übermäßiger Schaumbildung haben wir die Co-Vergärung von Fettsäureabscheiderhalten im Winter unterlassen.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

1.385 kW_{el}

Struktur der Anlage:

- 3 Faulbehälter (Arbeitsvolumen: á 8.000 m³)
- 2 x 5.000 m³ Gasspeicher im Fermenterdach

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

außenliegende Umwälzung und eine Gaseinpressung

Jährlicher Substrateinsatz:

310.000 m³

Organische Raumbelastung:

1,2 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Retentionszeit:

28 d

Entschwefelung:

nicht notwendig

Gasnutzung:

4 BHKWs

Abwärmenutzung:

Erwärmung des Faulschlammes, Beheizung der Labor- und Bürogebäude (die Kläranlage ist bezüglich der Wärmenutzung zu 100 % autark)

Biogasanlage Luchau

der ASS Erneuerbaren Energien GmbH

Das Umverlegen des Gasabzugs und der Drucksicherung führt trotz Schaumbildung zu einem stabilen Betrieb.



Die Biogasanlage wurde im September 2010 in Betrieb genommen. Die Anlage wird für die Vergärung von Rindergülle des benachbarten landwirtschaftlichen Betriebs mit 500 Milchkühen und 500 Jungtieren genutzt.

Im Fermenter wurde von Anfang an Schaumbildung beobachtet. Anfangs lag der Verdacht nahe, dass die Intensität der Schaumbildung stärker wurde, wenn einen Tag zuvor bei den Rindern ein Klauenbad durchgeführt wurde. Obwohl der Großteil des Klauenbades separat entsorgt wird, kann dieser Trend nur mit der Verschleppung des Klauenmittels durch die Kühe erklärt werden. Weniger Schaum wurde beobachtet, wenn eine stärkere Schwimmschicht im Reaktor vorhanden war. Die Schaumbildung ist der kurzen Verweilzeit des Substrates im System und somit der hohen Raumbelastung geschuldet.

Die Ursache der Schaumbildung ist nicht zu beseitigen. Der Ausfall infolge von Schaumereignissen musste also verringert werden. Ein Umverlegen des Gasabzuges und der Leitung zur Über-/Unterdrucksicherung in die Spitze des Fermenterdaches verhindern nun die Verstopfung der Leitungen mit Schaum. Seither erfolgt ein stabiler Betrieb der Anlage.



Jan Köhler (Anlagenbetreiber):

„Am Anfang haben wir jeden Tag die Schaumhöhe mit Hilfe einer Skala auf dem Sichtfenster des Fermenters notiert. Dadurch haben wir versucht, die Schaumentwicklung in einen Zusammenhang mit Futterumstellungen, Temperaturschwankungen usw. zu stellen. Leider ohne Erfolg. Mittlerweile haben wir uns an den Schaum gewöhnt.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

280 kW_{el}

Struktur der Anlage:

1 Anmaisch- und Hydrolysestufe

(Volumen: 136 m³)

1 Hauptfermenter (Volumen: 1.252 m³)

1 Gärrestlager (Volumen: 1.240 m³)

2.273 m³ Gasspeicher

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

ein Stabrührwerk und ein Tauchmotorrührwerk in der Hydrolyse,

2 Tauchmotorrührwerke im Fermenter

Jährlicher Substrateinsatz:

17.000 m³ Rindergülle und 3.650 t Maissilage

Organische Raumbelastung:

> 3,5 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Retentionszeit:

22 d

Entschwefelung:

Luft-Einblasen, Eisen(II)-chlorid

Gasnutzung:

1 Gasmotor-BHKW

Biogasanlage Kiebitz

der Agrargenossenschaft Bayern eG

Die Anlage wird für die Vergärung von Schweinegülle der Sauenzuchtanlage mit 700 Sauen genutzt.



Die Biogasanlage wurde in 2010 in Betrieb genommen.

Nach einem Jahr problemlosen Betriebs fing im Fermenter das Gärmaterial an zu schäumen. Zwei Monate später wurde Schaum auch im Gärrestlager beobachtet. Als Gegenmaßnahme wurden täglich 5 L Rapsöl hinzugefügt. Dies führte aber nur zu einer leichten Besserung. Weiterhin wurde das Rührregime auf längere Rührphasen umgestellt. Um die Ursache der Schaumbildung zu finden, wurde vom Betreiber im Substratmix jeweils eine Zeit lang ein Substrat weggelassen. So wurde festgestellt, dass die Schweinegülle die Schaumprobleme verursachte. Nachdem das Desinfektionsmittel in der Ferkelzuchtanlage ausgetauscht wurde, minimierte sich die Schaumbildung.

Seit einem halben Jahr ist der Schaum im Fermenter durch verbessertes Rührmanagement kaum zu sehen. Im Nachgärer wurde stets eine ca. 10 cm starke Schaumschicht beobachtet. Sie wurde nicht größer, obwohl seit Juni 2014 weder Rapsöl noch Antischaummittel eingesetzt wurde. Trotz variierender Einsatzmenge der Schweinegülle (zwischen 14m³/Tag und 22m³/Tag) ändert sich an der Schaumbildung nichts. Im August 2014 wurde der Fermenter komplett geleert und gereinigt. Auch nach der Wiederbefüllung hat sich die Situation nicht geändert.



Marko Eisermann (Anlagenbetreiber):

„Die Nutzung eines Antischaummittels brachte immer für zwei, drei Tage Ruhe. Dann ging die Schaumbildung aber wieder von vorne los.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

340 kW_{el}

Struktur der Anlage:

1 Hauptfermenter (Volumen: 2.218 m³)

1 Nachgärer (Volumen: 2.645 m³)

997 m³ Gasspeicher

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

1 Paddelrührwerk,

1 Großflügelrührwerk,

1 Tauchmotorrührwerk,

sowie 2 Tauchmotorrührwerke im Nachgärer

Täglicher Substrateinsatz:

13.000 t Substrat (59 % Schweinegülle,

28 % Maissilage, 12 % Festmist)

Organische Raumbelastung:

3,8 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Verweilzeit:

62 d (Fermenter)

Entschwefelung:

über Sauerstoffzufuhr sowie Zugabe von

Eisen(II)-hydroxid

Gasnutzung:

1 x 340 Kw Zündstrahl-BHKW

Abwärmenutzung:

Schweinezuchtanlage

Biogasanlage Andelbach

der Agrarenergie Andelbach GmbH & Co KG

Eine Eindämmung der Schaumbildung im Fermenter wurde mit der Umstellung des Silagemanagements erreicht.



Die Biogasanlage Reutter ist seit 2008 im Betrieb. Sie basiert auf dem Einsatz von NawaRo und Gülle und wurde mit einer Leistung von 360 kW_{el} errichtet und im Jahr 2009 um 190 kW_{el} erweitert.

Die Biogasanlage zeigte im Jahr 2011 erste Anzeichen von Schaum. Der Betreiber konnte die Ursache des Schäumens nicht identifizieren. Die Gaserträge blieben über den gesamten Zeitraum der Schaumbildung stabil auf hohem Niveau. Die erste Maßnahme, die er unternahm, war die Supplementierung mit Spurenelementen. Im weiteren Verlauf tauschte er ein Rührwerk aus, um den Gasaustrag aus dem zähen Gärmaterial zu verbessern. Da dies keinen Einfluss auf die Schaumbildung hatte, wurde die Gärtemperatur im Biogasbehälter um 3 °C erhöht. In einem weiteren Schritt wurde das Gärmaterial im Fermenter mit Gärmaterial aus dem Nachgärer recirculiert, um die Raumbelastung zu verringern. Dies hatte eine Verschärfung der Schaumbildung zur Folge. Ein Absenken des Füllstandes war mit der verbauten Kreiselpumpe aufgrund der Zähigkeit des Materials nicht möglich. Ein Einsatz von Enzymen brachte im Anschluss ebenfalls nicht den gewünschten Effekt. Die starke Schaumbildung konnte nur mit sehr häufigem Rühren bekämpft werden. Dies hatte einen negativen Einfluss in der ökonomischen Bilanz der Biogasanlage.

Die Ursache des Schäumens wurde dann letztendlich an der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie der Universität Hohenheim mit Hilfe des am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung entwickelten Schaumtests gefunden: Beide Silagen (Mais- und Grassilage) zeigten eine Schaumneigung. Die Umstellung des Silagemanagements führte zur Lösung des chronischen Schaumproblems.



Ernst Reutter (Anlagenfahrer):

„Während des Schäumens war ich fortlaufend sehr beunruhigt, da ich nicht sicher sein konnte, dass es zu Störungen z. B. einem Rührwerksausfall kommt, und der Schaum im Fermenter dann innerhalb weniger Minuten gefährlich anstieg und den Betrieb der Biogasanlage gefährdete.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

550 kW_{el}

Struktur der Anlage:

1 Nachgärer (Arbeitsvolumen: 1.700 m³)

1 Gärrestlager (Arbeitsvolumen: 3.500 m³)

1.900 m³ Gasspeicher im Fermenterdach

200 m³ Gasspeicher in einem Gassack über dem BHKW-Raum

Verfahren:

Nassvergärung, thermophil 52,5 °C

Durchmischung:

2 Langachs-Rührwerke in Fermenter und im Nachgärer;

Im Fermenter zusätzlich ein Strömungsbeschleuniger

Jährlicher Substrateinsatz:

7.300 t Maissilage; 4.460 t Grassilage;

4.000 t Rindergülle aus fünf Betrieben

Lagerung der Silage:

4 Horizontalsilos mit 10.000 m³ Gesamtkapazität

Organische Raumbelastung:

5,9 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Verweilzeit:

45 d (Fermenter)

Entschwefelung:

biologische Entschwefelung

Gasnutzung:

Gas-Otto-BHKW

Abwärmenutzung:

Schule

Biogasanlage Rädigke

der Agrargenossenschaft Hoher Fläming e.G.

Die Biogasanlage ist seit 2006 im Betrieb und wurde zur Verwertung der Rindergülle von 450 Kühen errichtet.



Die Biogasanlage Rädigke, die die Rindergülle des benachbarten landwirtschaftlichen Betriebs verarbeitet, hatte in 2010/2011 ein Jahr Probleme mit Schaumbildung im Biogasreaktor. Der Schaum wurde mit Hilfe eines kommerziellen Antischaummittels (8-50 L/d) und Rapsöl (40 L/d), das direkt aus der Presse geliefert wurde, bekämpft. Das Rapsöl zeigte eine eher negative Wirkung. Weiterhin wurde am Anfang dauernd gerührt. Dabei war ein Rührer kaputtgegangen, sodass dieser ausgetauscht werden musste. Seitdem wurde im Rhythmus von fünf Minuten pro Stunde gerührt. Die Fütterung erfolgte 35-mal täglich. Um die Ursachen der Schaumbildung näher zu untersuchen, wurde eine Langzeitbeobachtung vorgenommen. Auf Basis der Analyse der betrieblichen Daten wurde im Juli 2011 vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung empfohlen, Roggenschrot nicht mehr zu verwenden, das Rezirkulat mit Wasser zu verdünnen und den Rührzyklus auf acht Minuten pro Stunde zu verlängern.

Die Umsetzung erfolgte noch am gleichen Tag: Die Menge des zugeführten Getreideschrots wurde auf 0,2 t/d gesenkt, die Menge des Rezirkulats wurde verringert. Der Rührzyklus wurde verlängert. Im September 2011 konnte die täglich zugeführte Antischaummittelmenge auf 4-5 L gemindert werden und im November 2011 wurde letztendlich kein Schaum mehr beobachtet.



Fred Schulze (Betreiber):

„Wir haben alles Mögliche ausprobiert, aber der Schaum wollte einfach nicht weniger werden.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

549 kW_{el}, 4,6 Mio. kW_{el}/Jahr

Struktur der Anlage:

1 Hauptfermenter (Arbeitsvolumen: 2.540 m³)

2 Gärrestlager

400 m³ Gasspeicher im Fermenterdach

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

4 Rührwerke Flück 11 kQ

Jährlicher Substrateinsatz:

10.800 m³ Schweinegülle,

85.800 t Maissilage, 400 t Getreideschrot

Hydraulische Retentionszeit:

46 d

Entschwefelung:

Zugabe von Eisen(II)-chlorid

Gasnutzung:

Gasmotor-BHKW mit kontinuierlicher Vollast

Eigenstromerzeugung

Abwärmenutzung:

Sozialgebäude, Werkstatt, Kuhstall, Büro, Rapspresse,

Trocknungsanlage, 6 Wohnhäuser

Biogasanlage Warsow

des Agrarhofs Havelland GmbH

Die Anlage wird für die Vergärung von Gras aus angrenzenden Naturschutzflächen genutzt.



Die Biogasanlage wurde im Februar 2013 in Betrieb genommen und vergärt 30 % Grassilage von Naturschutzflächen. Die Erfahrungen mit der Bildung von Schaum beschränken sich auf den zweiten Fermenter.

Während im Hauptfermenter kein Schaum beobachtet wurde, gab es im zweiten Fermenter übermäßige Schaumbildung. Es wurde beobachtet, dass die Schaumschicht direkt nach der Fütterung besonders stark war. Im November 2013 wurde die Fütterung erhöht, um 85 - 90 % der theoretisch möglichen Gasausbeute zu erreichen. Nach Umstellung der Beschickung auf weniger Fermentermasse, Aufsplittung der Substratrationen auf zwei Fermenter und Erhöhung der Rührzeiten hat sich die Intensität der Schaumbildung im zweiten Fermenter verringert. Im Behälter, wo Flüssigphase aus dem Separator gelagert wird, ist der Schaum immer präsent. Dieser lässt sich mit Rapsöl und durch Verrühren zerstören. Die genaue Ursache der Schaumbildung konnte bisher nicht identifiziert werden.



Petra Weiß (Anlagenfahrerin):
„Momentan ist das Schaumproblem nicht so vordergründig. Im 2. Fermenter ist sporadisch Schaum am Überlauf und nach der Separation schäumt es gelegentlich schon ganz massiv. Aber da gebe ich dann etwas Rapsöl dazu. Der Effekt ist für 2-4 Tage zu beobachten. Der Schaum im 2. Fermenter tritt gehäuft auf bei Futterwechseln auf oder, wenn aufgrund von Havarieen einige Fütterungen ausgefallen sind.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

536 kW_{el}

Struktur der Anlage:

2 Fermenter: Hauptfermenter (1.000 m³) und nachgelagerter Fermenter (600 m³ - ehemals Ligavator-Hochsilo und Hauptfermenter) sowie 1 Gärrestlager (1.000 m³), 250 m³ Gasspeicher

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

1. Fermenter: externes LJM-Rührwerk,
2. Fermenter: zwei Tauchmotorrührwerke

Jährlicher Substrateinsatz:

11.000 t Substrat (40 % Maissilage, 30 % Rindermist, 30 % Grassilage)

Organische Raumbelastung:

4-5 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Verweilzeit:

45 d

Entschwefelung:

aktive biologische Entschwefelung im Biokieselbettreaktor

Gasnutzung:

BHKW 170 kW und 366 kW Satelliten-BHKW in 1,9 km Entfernung

Abwärmenutzung:

geplantes Nahwärmenetz für Broilerställe

Biogasanlage Waßmannsdorf

der BWB - Berliner Wasserbetriebe

Die Berliner Wasserbetriebe versorgen die Menschen der Region Berlin mit Trinkwasser und entsorgen deren Abwasser.



Das Klärwerk Waßmannsdorf bearbeitet täglich rund 180.000 Kubikmeter Abwasser. In Faultürmen der Kläranlage Waßmannsdorf, die seit 1990 betrieben werden, wird der Primär- und Sekundärschlamm (Mischschlamm) vergoren. Die Schaumbildung in den Faulbehältern vom Klärwerk Waßmannsdorf ist jahreszeitlich verschieden. Vorwiegend treten die problematischen Schäume in den Wintermonaten auf. Die Ursache liegt in der biologischen Zusammensetzung des Sekundärschlammes. In den Wintermonaten bildet sich im Abwasserreinigungsprozess eine besondere Art von Bakterien. Das ankommende Abwasser besitzt in der kalten Jahreszeit eine Temperatur von ca. 13 - 15 °C. Durch die Veränderung der Temperatur im Abwasser ändert sich auch die Biozönose, die Arten der Abwasserreinigungsbakterien ändern sich mit der Abwassertemperatur. In den Wintermonaten befindet sich im Abwasserreinigungsprozess unter anderem das Fadenbakterium *Microthrix parvicella*. Diese langfädigen Bakterien gelangen mit dem Sekundärschlamm in den Faulprozess. Durch die Struktur der Bakterien haben diese das Vermögen, Gasbläschen festzuhalten. Das heißt, Faulgasbläschen heften sich an die verfilzten *Microthrix parvicella*. Damit werden die Bakterien durch die Faulgasbläschen an die Schlammoberfläche des Faulbehälters transportiert. Dadurch entsteht an der Oberfläche eine Schaumschicht, die betriebliche Probleme verursachen. Durch eine intensive Umwälzung des Faulschlammes im Faulbehälter können die Strukturen der Bakterien zerstört werden und die Schaumbildung hält sich somit in Grenzen.



Andreas Lengemann
(Ingenieur für Wasserwirtschaft und Abwasserbehandlung):

„Wie können wir die Höhe der Schaumschicht im Faulbehälter feststellen? Durch eine Druckmessung am Fuße des Faulbehälters sowie parallel über eine Ultraschall- bzw. Radarmessung im Faulbehälterkopf. Die Druckmessung erfasst den Füllstand im Faulbehälter und die Ul-

traschallmessung erfasst die Höhe des Schlamm- bzw. Schaumspiegels. Beide Messungen sind aufeinander abgestimmt. Entsteht eine Schaumdecke, ändert sich der Druck am Fuße des Faulbehälters bei gleichbleibender Höhe des Schlammspiegels. Das ist eine von vielen Möglichkeiten zur Schaumerkennung im Faulbehälter.“

Charakteristik

Installierte elektrische Leistung:

5 BHKW-Module mit je 1,0 -1,2 MW_{el} Leistung

Struktur der Anlage:

6 Faultürme (Volumen: á 8.000 m³)
11.000 m³ Gasspeicher

Verfahren:

Nassvergärung, mesophil

Durchmischung:

außenliegende Umwälzung

Täglicher Substrateinsatz:

110 tTR/d Mischschlamm

Organische Raumbelastung:

2 - 3 kg oTS/(m³*d)

Hydraulische Verweilzeit:

> 20 d

Entschwefelung:

biologisch

Gasnutzung:

5 BHKWs, 75 % Eigenstromerzeugung

Abwärmenutzung:

Gebäudeheizung und Prozesswärme

LEIPZIGER SCHAUMTESTER

Für die Versuche zur Schaumneigung von Einsatzstoffen auf Biogasanlagen wurde am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Kooperation mit Eismann & Stöbe GbR ein mobiles Gerät entwickelt – der LEIPZIGER SCHAUMTESTER. Der Test simuliert explizit die Vorgänge in der Biogasanlage und ermöglicht dem Anlagenbetreiber, das Verhalten des jeweiligen Substrates in seiner eigenen Anlage zu testen. Das Testset beinhaltet ein einfach zu bedienendes Gerät mit einer Heizmanschette und eine Testflasche. Das Heizelement dient zur exakten Einhaltung von konstanter Temperatur im Laufe der gesamten Versuchsdauer. Somit ist Schaumbildung durch Temperaturschwankungen ausgeschlossen und der gebildete Schaum entsteht allein durch die Zugabe des zu testenden Substrats. Eine Schaumfalle verhindert eine Verschmutzung des Geräts nach eventuellem Überlaufen durch zu starke Schaumentwicklung.

Die Testdurchführung ist einfach: Das Gärmaterial aus der Biogasanlage wird zusammen mit dem zu testenden Substrat in der 1-L-Testflasche vermischt, sodass das Endgewicht des Inhalts 500 g ausmacht. Die Menge des Substrates richtet sich nach seiner Feuchtigkeit; es werden 10 g Trockenmasse eingewogen. Das bedeutet zum Beispiel für Maissilage mit 35 % Trockensubstanzgehalt eine Einwaage von 29 g. In dem Fall, dass das Substrat flüssig ist, werden 50 g eingewogen. Das zu testende Material wird mit einem Rührstab oder einem Löffel gründlich vermischt. Danach wird der Testansatz bei konstanter Temperatur inkubiert. Am nächsten Tag wird der Versuch beendet und die Schaumentwicklung im Testglas beurteilt.

Die Auswertung beinhaltet das Abmessen der Höhe des gesamten Versuchsmaterials sowie der Höhe der Schaumschicht. Die Intensität der Schaumbildung wird dann als der prozentuale Anteil des Schaums im Gäransatz ausgedrückt. Allerdings ist dieses detaillierte Vorgehen nur für die Auswertung von parallelen Schaumversuchen erforderlich, z. B. um Schaumvermeidungsmaßnahmen zu entwickeln. Bei Vor-Ort-Versuchen wird die Schaumbildung vom Anlagenfahrer lediglich visuell (z. B. Material schäumt: stark, mäßig, gar nicht) begutachtet.

Der LEIPZIGER SCHAUMTESTER ermöglicht dem Anlagenbetreiber bereits vor der Zugabe das Erkennen kritischer Substrate. Das Gerät kann auch zur Ursachendiagnose von bereits schäumenden Biogasanlagen genutzt werden. Dadurch, dass der Schaumtester optisch erlebbar macht, was in der Biogasanlage passiert, kann diese im Test gefahrlos optimiert werden.

Mit dem LEIPZIGER SCHAUMTESTER überzeugten seine Entwickler die Jury des IQ Innovationspreises Mitteldeutschland und wurden sie mit dem IQ Innovationspreis der Stadt Leipzig 2014 ausgezeichnet.

Der LEIPZIGER SCHAUMTESTER kann in folgenden Ausführungen gekauft werden:



Foto: A. Künzelmann, UFZ



Foto: A. Weimer, UIT GmbH

Eismann & Stöbe GbR
Bautzner Straße 67
04347 Leipzig
www.antoc.de

Umwelt- und Ingenieurtechnik GmbH Dresden
Zum Windkanal 21
01109 Dresden
www.uit-gmbh.de

Forschungsinstitutionen

Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH

Das Deutsche Biomasseforschungszentrum arbeitet als zentraler und unabhängiger Vordenker im Bereich der energetischen Biomassenutzung an der Frage, wie die begrenzt verfügbaren Biomasseressourcen nachhaltig und mit höchster Effizienz zum bestehenden, vor allem aber auch zu einem zukünftigen Energiesystem beitragen können. Im Rahmen der Forschungstätigkeit identifiziert, entwickelt, begleitet, evaluiert und demonstriert das DBFZ die vielversprechendsten Anwendungsfelder der Bioenergie und besonders positiv herausragende Beispiele gemeinsam mit Partnern aus Forschung, Wirtschaft und Öffentlichkeit.

www.dbfz.de

Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ

Als internationales Kompetenzzentrum für Umweltwissenschaften untersucht das UFZ die komplexen Wechselwirkungen zwischen Mensch und Natur unter dem Einfluss des globalen Wandels. Kernthemen sind Landnutzung, Biodiversität und Ökosystemleistungen inklusive Bioenergie, Wasser und Boden sowie Chemikalien in der Umwelt. Ziel ist es, Wege zur Vereinbarkeit von gesellschaftlicher Entwicklung und langfristigem Schutz unserer Lebensgrundlagen aufzuzeigen.

www.ufz.de



Impressum

Herausgeber:

Lucie Moeller, Andreas Zehnsdorf, Daniela Thrän, Diana Pfeiffer

Redaktion:

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Programmbegleitung des Förderprogramms "Energetische Biomassenutzung"
Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig
www.energetische-biomassenutzung.de

Fotos:

UFZ, DBFZ, am Bild vermerkt

Layout:

Steffen Kronberg
Angela Gröber

Druck:

Digitaldruckfabrik, Leipzig

Förderung:

Erstellt mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Berlin (BMWi)

© 2015 DBFZ gGmbH
ISSN: 2192-1156

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger:



Programmbegleitung:



Projektkoordination:

